

Φυσική

Τεύχος Β΄
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών &
Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

3ος τόμος

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

**ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ
ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα - βιβλία

ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Η αξιολόγηση, η κρίση των προσαρμογών και η επιστημονική επιμέλεια του προσαρμοσμένου βιβλίου πραγματοποιείται από τη Μονάδα Ενταξιακής και Ειδικής Εκπαίδευσης του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Η προσαρμογή του βιβλίου για μαθητές με μειωμένη όραση από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ πραγματοποιείται με βάση τις προδιαγραφές που έχουν αναπτυχθεί από ειδικούς εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ
ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου
πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα
του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Φυσική

Τεύχος Β΄
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών &
Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

3ος τόμος

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Νόμος Biot-Savart	7
Νόμος Ampere	16
Νόμος Gauss	26
Κίνηση φορτισμένων σωματίων σε μαγνητικό πεδίο	32
Δύναμη Laplace	50
Σύνοψη	62
Ασκήσεις	81

4-1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μεγάλα βήματα στην επιστήμη γίνονται στα ερευνητικά κέντρα που συγκεντρώνουν τους κορυφαίους επιστήμονες του καιρού τους και είναι εφοδιασμένα με τα πιο εξελιγμένα όργανα. Ο κανόνας, βέβαια, είχε τις εξαιρέσεις του.

Στις εξαιρέσεις του κανόνα, ένας Δανός δάσκαλος της φυσικής σε σχολείο της Κοπεγχάγης, ο Hans Christian Oersted (Έρστεντ), κατά τη διάρκεια ενός πειράματος που έκανε στην τάξη του, παρατήρησε κάτι που στον καιρό του ήταν απίστευτο: το ηλεκτρικό ρεύμα επηρεάζει τη μαγνητική πυξίδα.



Εικ. 4.1 Hans Christian Oersted (1777-1851). Καθηγητής φυσικής στην Κοπεγχάγη, ανακάλυψε τη μαγνητική δράση των ηλεκτρικών ρευμάτων, ανοίγοντας τους ορίζοντες για τη μελέτη του ηλεκτρομαγνητισμού.

Μέχρι τότε γνώριζαν την ύπαρξη των μόνιμων μαγνητών και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Το πείραμα του Oersted έδειξε ότι και το ηλεκτρικό ρεύμα επιδρά στους μαγνήτες. Λίγο αργότερα, ο Γάλλος φυσικός Ampère, κάνοντας ένα βήμα μπροστά, υποστήριξε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η μοναδική πηγή των μαγνητικών φαινομένων. Την ερμηνεία της σχέσης ανάμεσα στην κίνηση φορτίου και το μαγνητισμό την έδωσε πολύ αργότερα, το 1905, η θεωρία της σχετικότητας.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαγνητών ή μεταξύ μαγνητών και κινούμενων φορτίων είναι αλληλεπιδράσεις από απόσταση και γι' αυτό η έννοια του πεδίου προσφέρεται για την περιγραφή τους. Αυτή τη φορά θα μιλήσουμε για το μαγνητικό πεδίο. Όπως κάναμε και στην περίπτωση των δυο άλλων πεδίων που μελετήσαμε, το μαγνητικό πεδίο θα το περιγράψουμε με την έντασή του (τη λένε και μαγνητική επαγωγή του πεδίου). Για λόγους απλότητας, θα λέμε «το μαγνητικό πεδίο $\mathbf{B}$ » και θα εννοούμε «το μαγνητικό πεδίο που έχει ένταση $\mathbf{B}$ ».

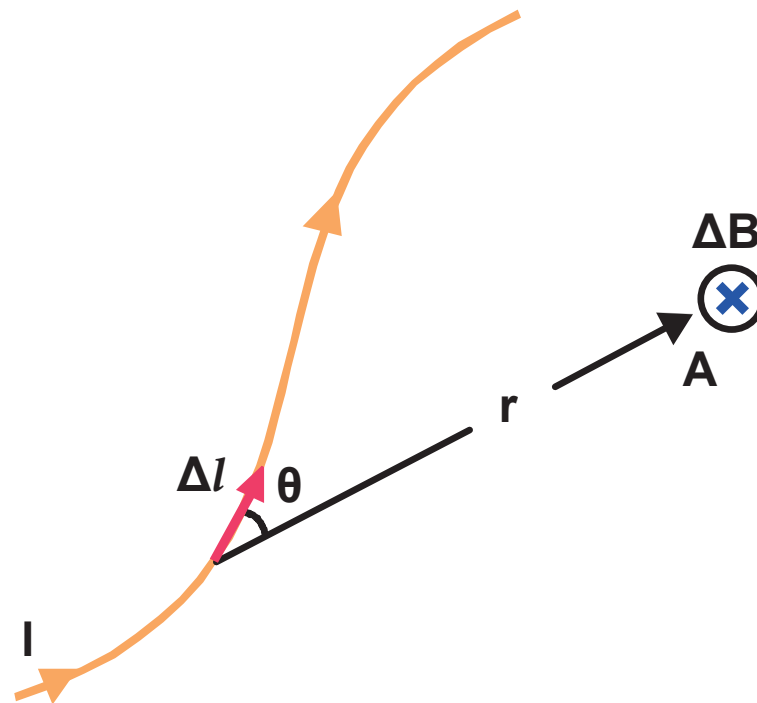
Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε αρχικά με τις πηγές του μαγνητικού πεδίου, που είναι τα ρεύματα, και στη συνέχεια με τις δυνάμεις που ασκούν τα μαγνητικά πεδία. Τα μαγνητικά πεδία που θα εξετάσουμε θα είναι σταθερά.

4-2 ΝΟΜΟΣ ΤΩΝ ΒΙΟΤ ΚΑΙ SAVART

Λίγο μετά την ανακάλυψη του Oersted ότι το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο, οι Biot και Savart (Μπιό και Σαβάρ), βασιζόμενοι σε πειραματικές μετρήσεις, κατέληξαν στο νόμο που δίνει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένας αγωγός ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα.

Αν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , ένα πολύ μικρό τμήμα του, μήκους Δl , δημιουργεί σε ένα σημείο A που απέχει απόσταση r από το τμήμα Δl μαγνητικό πεδίο ΔB μέτρου

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l}{r^2} \eta \mu \theta \quad (4.1)$$



Σχ. 4.1 Το μαγνητικό πεδίο ΔB που δημιουργεί το τμήμα Δl του αγωγού στο σημείο A , είναι κάθετο στο επίπεδο του βιβλίου και με φορά από τον αναγνώστη προς το βιβλίο. Η φορά δηλώνεται με το $\otimes$.

Στη σχέση αυτή το θ είναι η γωνία που σχηματίζουν τα διανύσματα Δl και r . Η σταθερά μ_0 λέγεται **μαγνητική διαπερατότητα του κενού**. Το διάνυσμα ΔB είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από το Δl και το r και η φορά του δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Αν τοποθετήσουμε την παλάμη του δεξιού χεριού στο επίπεδο που ορίζεται από το Δl και το σημείο A, έτσι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος και τα υπόλοιπα δάχτυλα να βρίσκονται από την πλευρά του σημείου A, τότε, αν τα κάμψουμε, τα υπόλοιπα δάχτυλα θα δείξουν τη φορά του $\Delta \mathbf{B}$. Το τμήμα Δl θεωρείται προσανατολισμένο, με φορά ίδια με τη φορά του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

Το μαγνητικό πεδίο $\mathbf{B}$, στο SI, μετριέται σε Tesla (T). Η μαγνητική διαπερατότητα του κενού είναι $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.

Ο νόμος των Biot και Savart, δίνει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ένα μόνο πολύ μικρό τμήμα του αγωγού. Για να βρούμε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί σε ένα σημείο ολόκληρος ο αγωγός, πρέπει να χωρίσουμε τον αγωγό σε πολύ μικρά τμήματα και στη συνέχεια να αθροίσουμε (διανυσματικά) τα πεδία που δημιουργούν όλα τα μικρά τμήματα του αγωγού στο σημείο που εξετάζουμε.

$$\mathbf{B} = \Delta \mathbf{B}_1 + \Delta \mathbf{B}_2 + \Delta \mathbf{B}_3 + \dots$$

Ο νόμος των Biot και Savart είναι θεμελιώδης νόμος στο μαγνητισμό και παίζει ρόλο ανάλογο με εκείνο του νόμου του Coulomb στο στατικό ηλεκτρισμό.



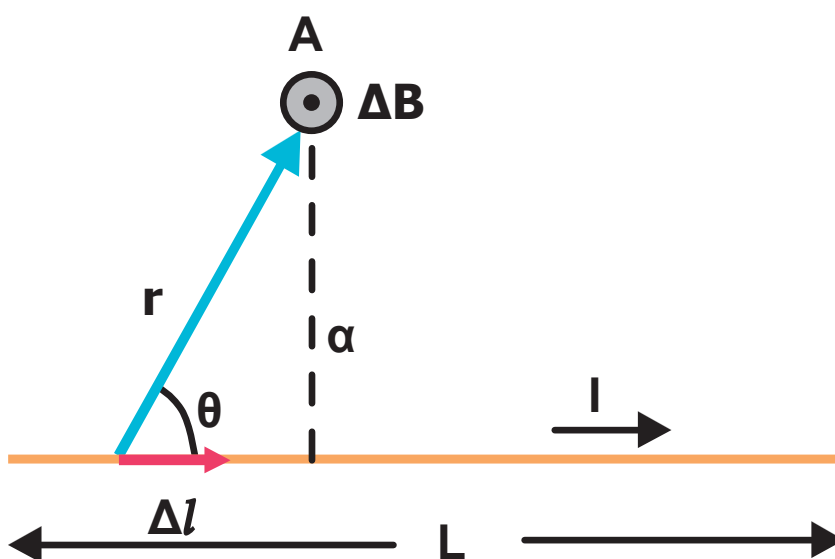
Εικ. 4.2 Jean Baptiste Biot (1774-1862). Γαλλία. Απόφοιτος της περίφημης École Polytechnique και καθηγητής στο Colège de France. Ασχολήθηκε σχεδόν με όλους τους τομείς της Φυσικής. Συνεργάστηκε με τον Savart σε μια θεωρία για το μαγνητισμό. Βραβεύθηκε από τη βασιλική εταιρεία επιστημών της Αγγλίας, κάτι ασυνήθιστο αν λάβει κανείς υπόψη του την εχθρότητα που υπήρχε στην εποχή του ανάμεσα στην Αγγλία και τη Γαλλία και στο επιστημονικό πεδίο.

4-3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΩΝ ΒΙΟΤ ΚΑΙ SAVART

Το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού

Έστω το ευθύγραμμο σύρμα του σχήματος 4.2, μήκους L που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I . Για να υπολογίσουμε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο αγωγός στο σημείο A , που απέχει απόσταση a από τον αγωγό, χωρίζουμε τον αγωγό σε πολύ μικρά τμήματα. Έστω ένα τέτοιο τμήμα μήκους Δl που απέχει απόσταση r από το σημείο A . Το μικρό αυτό τμήμα δημιουργεί στο σημείο A μαγνητικό πεδίο μέτρου

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l}{r^2} \eta \mu \theta$$



Σχ. 4.2 Στο σημείο A το μαγνητικό πεδίο οφείλεται στη συνεισφορά όλων των πολύ μικρών τμημάτων Δl του ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.

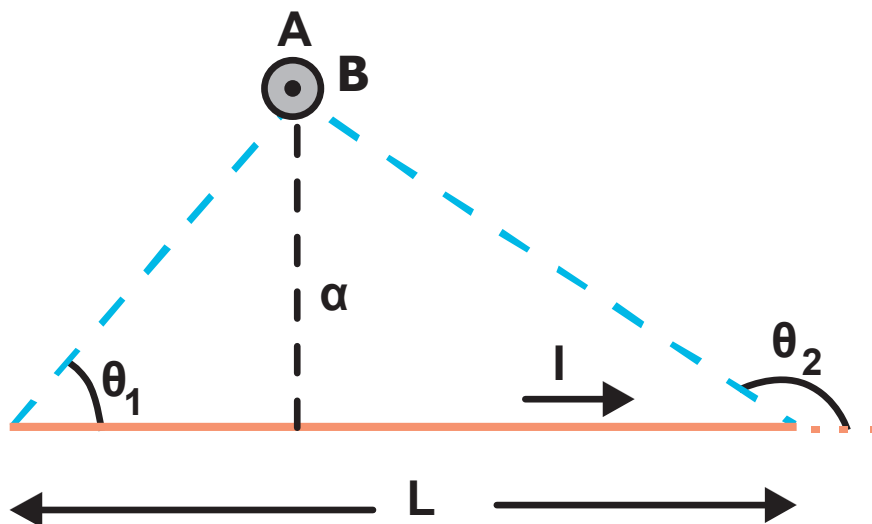
Το $\Delta \mathbf{B}$ είναι κάθετο στο επίπεδο της σελίδας με φορά προς τον αναγνώστη.

Για να βρούμε το πεδίο που δημιουργεί ολόκληρος ο αγωγός, στο σημείο A, αθροίζουμε τα πεδία όλων των τμημάτων στα οποία έχουμε χωρίσει τον αγωγό. Ο υπολογισμός του αθροίσματος αυτού απαιτεί τη χρήση ολοκληρωμάτων και υπερβαίνει το επίπεδο των μαθηματικών αυτού του βιβλίου. Το άθροισμα δίνει:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{a} (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \quad (4.2)$$

Αν το σύρμα έχει άπειρο μήκος (μήκος πολύ μεγαλύτερο από την απόσταση a) οι γωνίες θ_1 και θ_2 παίρνουν τιμές 0 και π αντίστοιχα, και η (4.2) δίνει:

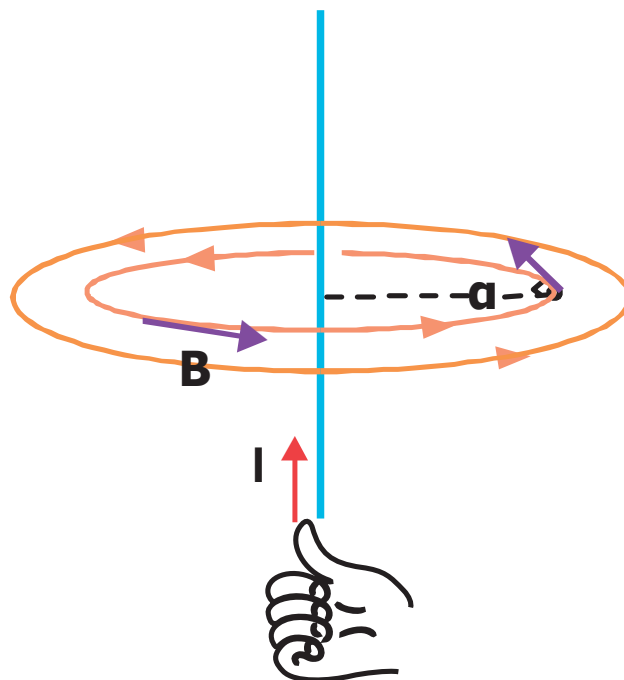
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{a} \quad (4.3)$$



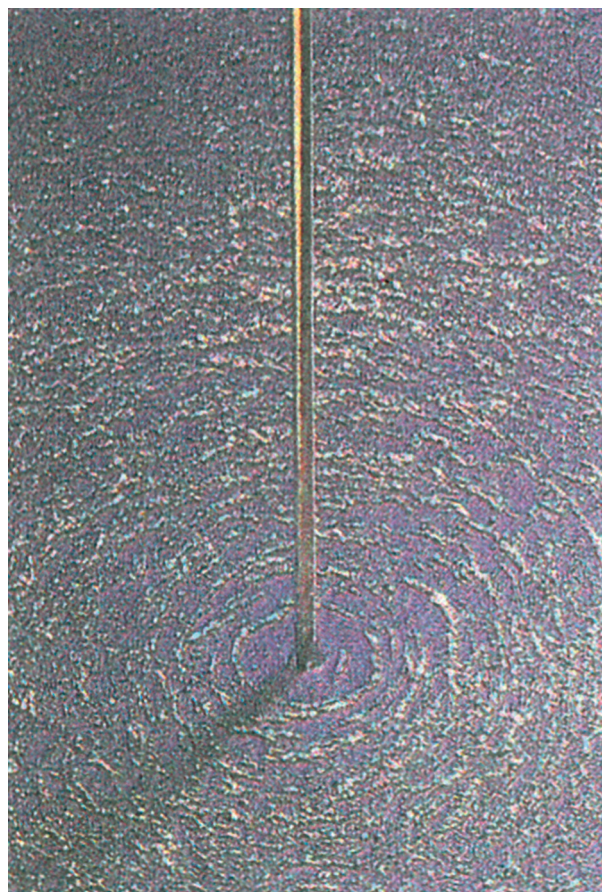
Σχ. 4.3 Στο σχήμα φαίνονται οι γωνίες θ_1 και θ_2 της σχέσης (4.2).

Το μέτρο του B είναι σταθερό σε κάθε σημείο κύκλου ακτίνας a και η διεύθυνσή του, σε κάθε σημείο, κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και το σημείο. Οι δυναμικές γραμμές ενός τέτοιου πεδίου είναι ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο πάνω στον αγωγό και με το επίπεδό τους κάθετο σ' αυτόν.

Το σχήμα 4.4 δίνει την τρισδιάστατη απεικόνιση του πεδίου που δημιουργεί ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός πολύ μεγάλου μήκους. Η φορά των δυναμικών γραμμών μπορεί να βρεθεί εύκολα με τον κανόνα του δεξιού χεριού. Σύμφωνα με αυτόν, τοποθετούμε τον αντίχειρα του δεξιού χεριού στην κατεύθυνση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και κάμπτουμε τα υπόλοιπα δάχτυλα. Η φορά των δυναμικών γραμμών είναι ίδια με τη φορά που καθορίζουν τα δάχτυλα.



Σχ. 4.4 Με τον κανόνα του δεξιού χεριού μπορούμε να βρούμε τη φορά των δυναμικών γραμμών του πεδίου που δημιουργεί ο αγωγός.



Εικ. 4.3 Αισθητοποίηση του μαγνητικού πεδίου ευθύγραμμου αγωγού με ρινίσματα σιδήρου.

Το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού

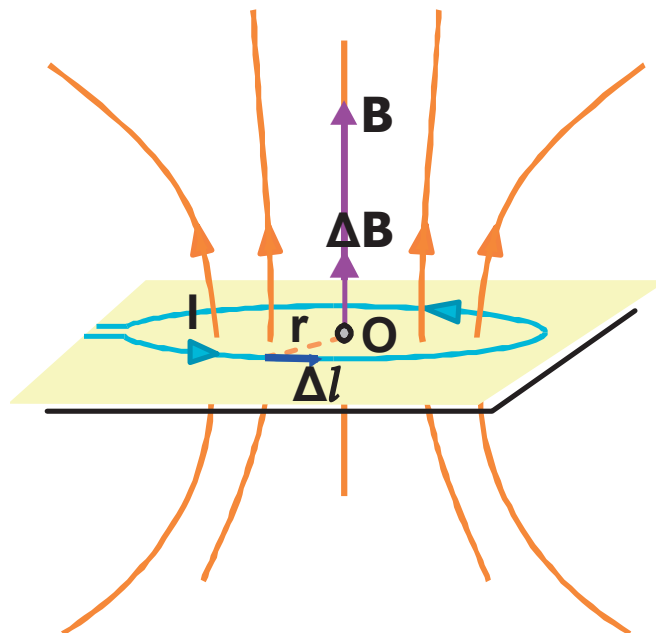
Το σχήμα 4.5 δείχνει έναν κυκλικό αγωγό ακτίνας r που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I . Για να υπολογίσουμε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένας τέτοιος αγωγός στο κέντρο του, χωρίζουμε τον αγωγό σε πολύ μικρά τμήματα. Ένα τέτοιο τμήμα Δl_1 , σύμφωνα με το νόμο των Biot και Savart, δημιουργεί στο κέντρο O μαγνητικό πεδίο μέτρου

$$\Delta B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l_1}{r^2} \sin 90^\circ = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l_1}{r^2}$$

Η διεύθυνση του ΔB_1 είναι κάθετη στο επίπεδο του κύκλου και η φορά του προς τα πάνω. Το επόμενο πολύ μικρό τμήμα, μήκους Δl_2 δημιουργεί στο σημείο Ο μαγνητικό πεδίο μέτρου

$$\Delta B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l_2}{r^2}$$

ίδιας κατεύθυνσης με το ΔB_1 .



Σχ. 4.5 Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί κυκλικός ρευματοφόρος αγωγός στο κέντρο του είναι κάθετο στο επίπεδο του κύκλου με φορά που βρίσκεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.

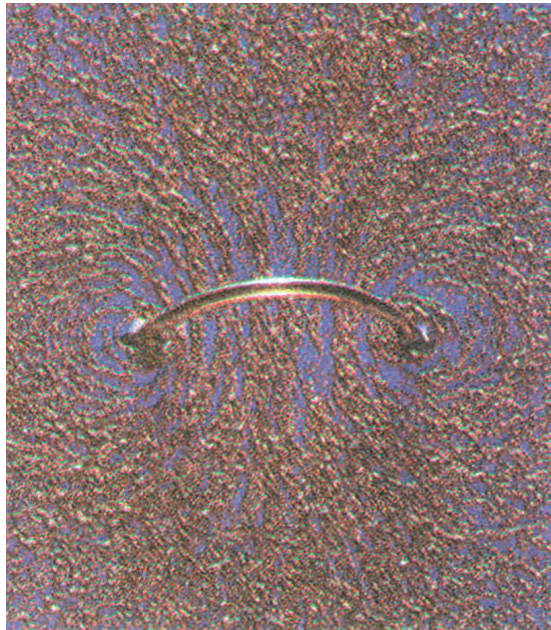
Το μαγνητικό πεδίο B που δημιουργεί ολόκληρος ο κυκλικός αγωγός προκύπτει από το διανυσματικό άθροισμα των πεδίων που δημιουργούν τα τμήματα του αγωγού, και επειδή όλα έχουν την ίδια κατεύθυνση,

$$B = \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 + \dots = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I (\Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots)}{r^2} \quad (4.4)$$

Το άθροισμα $\Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots$ δίνει την περίμετρο του κυκλικού αγωγού $2\pi r$ και η σχέση (4.4) γίνεται

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi I}{r}$$

Το B , στο O , είναι κάθετο στο επίπεδο του κυκλικού αγωγού και η φορά του δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.



Εικ. 4.4 Αισθητοποίηση του μαγνητικού πεδίου κυκλικού αγωγού με ρινίσματα σιδήρου.

4-4 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ AMPÈRE (ΑΜΠΕΡ)

Ο νόμος του Ampère είναι μια γενική σχέση ανάμεσα στο μαγνητικό πεδίο και στις πηγές του.

Είδαμε ότι ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο της μορφής του σχήματος 4.6, με ένταση μέτρου

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{a}$$

Ας χωρίσουμε μια δυναμική γραμμή σε πολύ μικρά τμήματα Δl και ας υπολογίσουμε το άθροισμα των γινόμενων $B \Delta l$ συνθ κατά μήκος της δυναμικής γραμμής. θ είναι η γωνία ανάμεσα στο Δl και στο B . Επειδή στο συγκεκριμένο πεδίο η γωνία αυτή είναι μηδέν, το συνημίτονο της γωνίας είναι μονάδα.

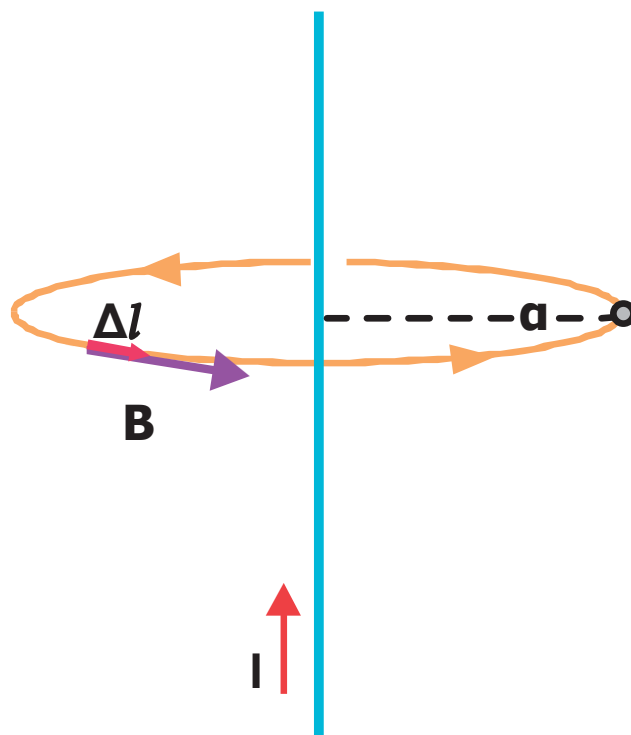


Εικ. 4.5 Andre Marie Ampère (1775-1836). Γαλλία. Καθηγητής της École Polytechnique. Διατύπωσε μια συνθετική θεωρία για τον ηλεκτρομαγνητισμό και απέδωσε τις μαγνητικές ιδιότητες κάποιων υλικών σε μικροσκοπικά κλειστά ρεύματα στο εσωτερικό της ύλης.

$\sum B \Delta l \text{ συνθ} = \sum B \Delta l$ και επειδή το μέτρο του B είναι σταθερό το άθροισμα γράφεται

$$\sum B \Delta l \cos\theta = B \sum \Delta l = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{a} 2\pi a = \mu_0 I$$

Αυτό σημαίνει ότι το άθροισμα του πρώτου μέλους είναι ανεξάρτητο της απόστασης a από τον αγωγό. Αποδεικνύεται ότι το αποτέλεσμα αυτό είναι γενικό και ισχύει για κάθε κλειστή διαδρομή μέσα από την οποία διέρχεται σταθερό ρεύμα. Στην περίπτωση που η κλειστή διαδρομή περικλείει περισσότερα του ενός ρεύματα -και δεν έχει σημασία αν οι αγωγοί είναι ευθύγραμμοι- κάθε ρεύμα που διέρχεται μέσα από το βρόχο (κλειστή διαδρομή) συνεισφέρει κατά $\mu_0 I$.

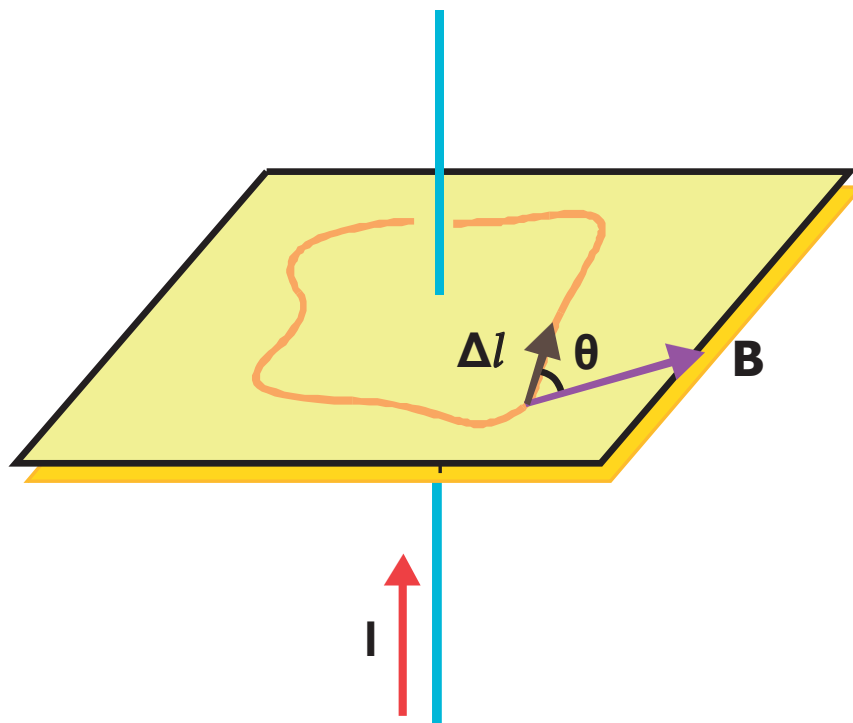


Σχ. 4.6 Κατά μήκος της δυναμικής γραμμής τα Δl και B είναι συγγραμμικά ($\theta = 0$).

Κατά μήκος μιας κλειστής διαδρομής το άθροισμα των γινομένων $B \Delta l$ συνθ ισούται με $\mu_0 I_{\text{εγκ'}}$ όπου $I_{\text{εγκ'}}$ το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων που διέρχονται από την επιφάνεια η οποία περιβάλλεται από την κλειστή αυτή διαδρομή. (Νόμος Ampère).

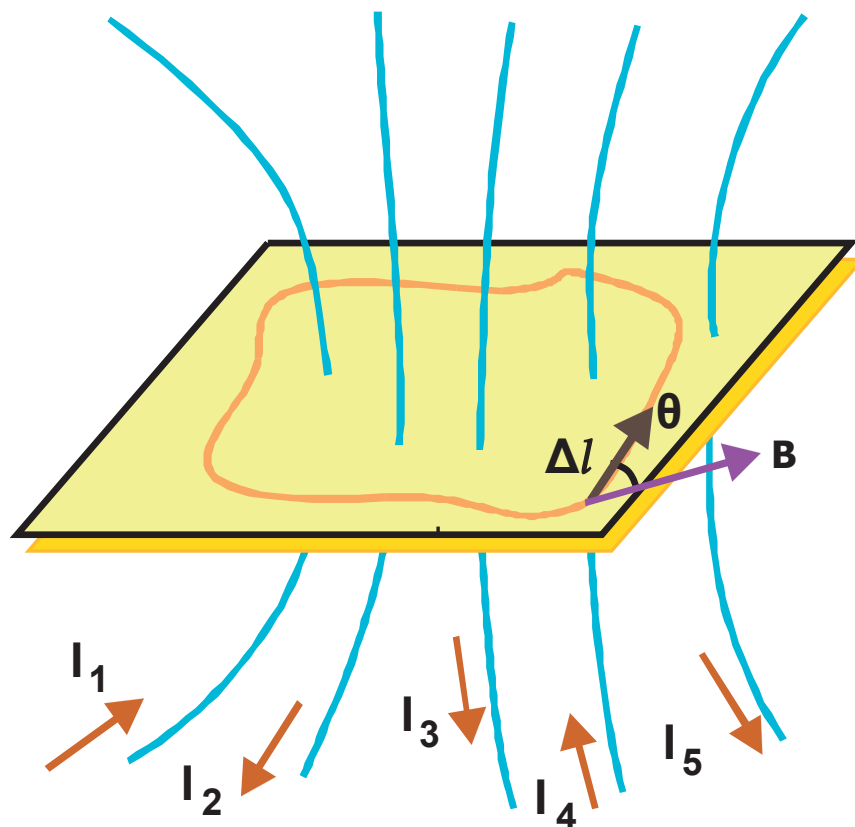
$$\sum B \Delta l \text{ συνθ} = \mu_0 I_{\text{εγκ'}}$$

Η φορά που αντιστοιχεί σε θετικό ρεύμα ορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού. Αν τα δάκτυλα του δεξιού χεριού δείχνουν τη φορά κίνησης στο βρόχο, ο αντίχειρας ορίζει τη θετική φορά για τα ρεύματα.



Σχ. 4.7 Το άθροισμά των γινομένων $B \Delta l \text{ συνθ}$ κατά μήκος οποιασδήποτε κλειστής διαδρομής που περικλείει το ρεύμα I είναι ίσο με $\mu_0 I$.

Το B στην παραπάνω σχέση οφείλεται τόσο στα ρεύματα που περικλείει ο βρόχος (κλειστή διαδρομή) όσο και σε ρεύματα που βρίσκονται έξω από αυτόν.



Σχ. 4.8 Το άθροισμα των γινομένων $B\Delta l \sin\theta$ κατά μήκος κλειστής διαδρομής είναι ίσο με τη σταθερά μ_0 επί το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων που περικλείει η κλειστή διαδρομή. Εδώ το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων είναι $I_1 - I_2 - I_3 + I_4$.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο νόμος του Ampère ισχύει μόνο για σταθερά ρεύματα και για σταθερά μαγνητικά πεδία.

Όπως ο νόμος του Gauss μας επιτρέπει να υπολογίζουμε το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από συμμετρικές κατανομές φορτίου, έτσι και ο νόμος του Ampère μας διευκολύνει να υπολογίζουμε την ένταση σε μαγνητικά πεδία που εμφανίζουν συμμετρία.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-1

Υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ευθύγραμμος αγωγός με άπειρο μήκος, που διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης. (Το ίδιο πρόβλημα το έχουμε αντιμετωπίσει χρησιμοποιώντας το νόμο των Biot και Savart).

Απάντηση:

Η συμμετρία της διάταξης επιβάλλει το μέτρο του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ένας τέτοιος αγωγός να είναι ίδιο σε όλα τα σημεία που ισαπέχουν από τον αγωγό. Η διεύθυνση του πεδίου, σε κάθε σημείο, είναι κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζει ο αγωγός και η απόσταση a του σημείου από αυτόν. Δηλαδή το μέτρο του B είναι το ίδιο σε κάθε σημείο ενός κύκλου που έχει το κέντρο του πάνω στον αγωγό και το επίπεδό του κάθετο σ' αυτόν. Η διεύθυνσή του είναι εφαπτόμενη σε κάθε σημείο της περιφέρειας του κύκλου (σχ. 4.9).

Για να εφαρμόσουμε το νόμο του Ampère επιλέγουμε μια κλειστή κυκλική διαδρομή ακτίνας a , με κέντρο πάνω στον αγωγό και το επίπεδό της κάθετο σ' αυτόν. Χωρίζουμε τη διαδρομή σε πολύ μικρά τμήματα Δl .

Θα υπολογίσουμε το άθροισμα των γινομένων $B\Delta l$ συνθ κατά μήκος της κυκλικής διαδρομής. Η κατεύθυνση των τμημάτων Δl σε κάθε σημείο είναι ίδια με την κατεύθυνση του B σε εκείνο το σημείο, επομένως η γωνία θ που σχηματίζουν είναι μηδέν και το συνημίτονό της μονάδα.

$\sum B \Delta l \cos\theta = \sum B \Delta l$ και επειδή το μέτρο του B είναι σταθερό το άθροισμα γράφεται

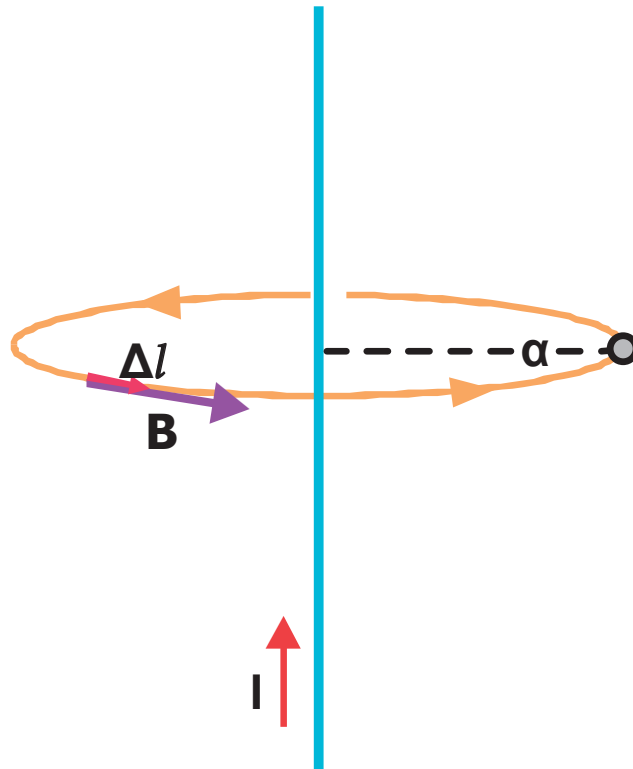
$$\sum B \Delta l \cos\theta = B \sum \Delta l = B 2\pi a$$

Από το νόμο του Ampère έχουμε:

$$\sum B \Delta l \cos\theta = \mu_0 I_{\text{εγκ}} = \mu_0 I$$

Επομένως $B 2\pi a = \mu_0 I$ ή $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a}$ ή $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{a}$

Φτάσαμε δηλαδή από άλλο δρόμο στη σχέση (4.3).



Σχ. 4.9 Εφαρμόζουμε το νόμο του Ampère σε κυκλική διαδρομή που συμπίπτει με μια δυναμική γραμμή.

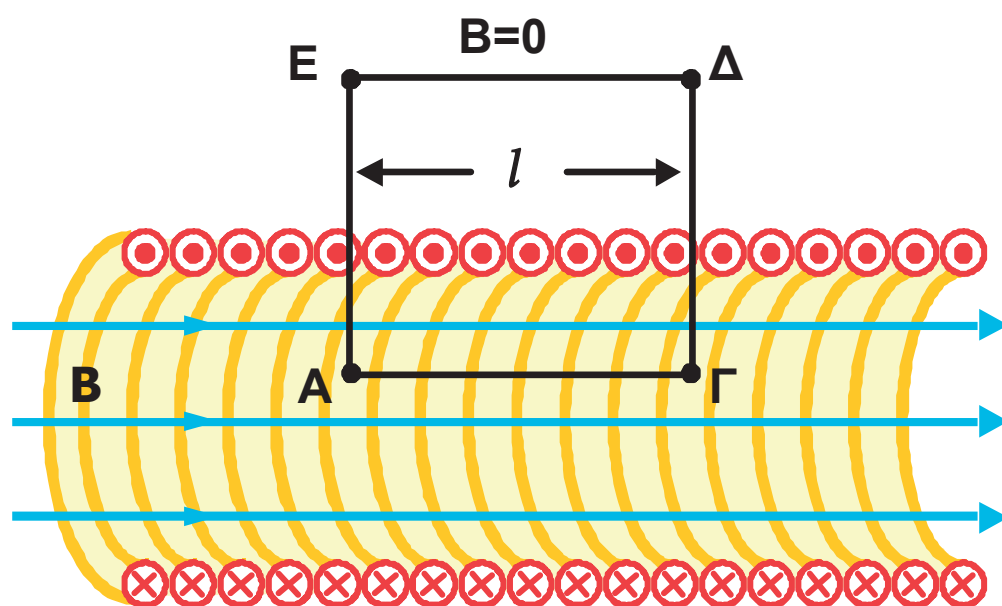
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-2

Υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου σωληνοειδούς, απείρου μήκους, που διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης I .

Απάντηση:

Στο σχήμα 4.10 βλέπουμε μια τομή του σωληνοειδούς με επίπεδο που περιέχει τον άξονά του. Γνωρίζουμε (πειραματικά) ότι στο εσωτερικό ενός σωληνοειδούς μεγάλου μήκους το μαγνητικό πεδίο είναι ομογενές και παράλληλο με τον άξονά του. Έξω από το σωληνοειδές το πεδίο είναι ασθενές, συγκρινόμενο με το πεδίο στο εσωτερικό. Στην ιδανική περίπτωση που το μήκος του σωληνοειδούς είναι άπειρο, το μαγνητικό πεδίο έξω από αυτό μπορεί να θεωρηθεί μηδέν.

Για να εφαρμόσουμε το νόμο του Ampère επιλέγουμε μια διαδρομή σχήματος ορθογωνίου μήκους l , όπως στο σχήμα 4.10.



Σχ. 4.10 Εφαρμόζουμε το νόμο του Ampère στη διαδρομή ΑΓΔΕΑ.

Το άθροισμα των γινομένων $B \Delta l \cos \theta$ κατά μήκος της διαδρομής ΑΓ είναι Bl . Κατά μήκος των διαδρομών ΓΔ και ΕΑ το ίδιο άθροισμα είναι μηδέν γιατί, όπου υπάρχει, το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στη διαδρομή. Επομένως $\cos \theta = \cos 90^\circ = 0$. Τέλος, κατά μήκος της ΔΕ είναι επίσης μηδέν γιατί στην περιοχή αυτή δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο ($B = 0$). Επομένως

$$\sum B \Delta l \cos \theta = Bl$$

Σύμφωνα με το νόμο του Ampère το άθροισμα αυτό είναι ίσο με το γινόμενο της σταθεράς μ_0 επί το συνολικό ρεύμα που διαπερνά το ορθογώνιο πλαίσιο. Αν I το ρεύμα που διαρρέει κάθε σπείρα και N ο αριθμός των σπειρών που περιέχονται στο ορθογώνιο πλαίσιο, τότε το ολικό ρεύμα που διέρχεται είναι NI .

Επομένως $\sum B \Delta l \cos \theta = \mu_0 I_{\text{εγκ}} = \mu_0 NI$ ή

$$Bl = \mu_0 NI \text{ οπότε } B = \mu_0 I \frac{N}{l} \quad (4.5)$$

αν όπου N/l θέσουμε n , όπου το n αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σπειρών ανά μονάδα μήκους, η σχέση (4.5) γίνεται:

$$B = \mu_0 n I \quad (4.6)$$

Παρόλο που η σχέση (4.6) βρέθηκε για σωληνοειδές απείρου μήκους, δίνει με μεγάλη ακρίβεια το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό οποιουδήποτε σωληνοειδούς με μεγάλο μήκος. Στα άκρα του σωληνοειδούς η τιμή του B είναι μικρότερη, περίπου η μισή.

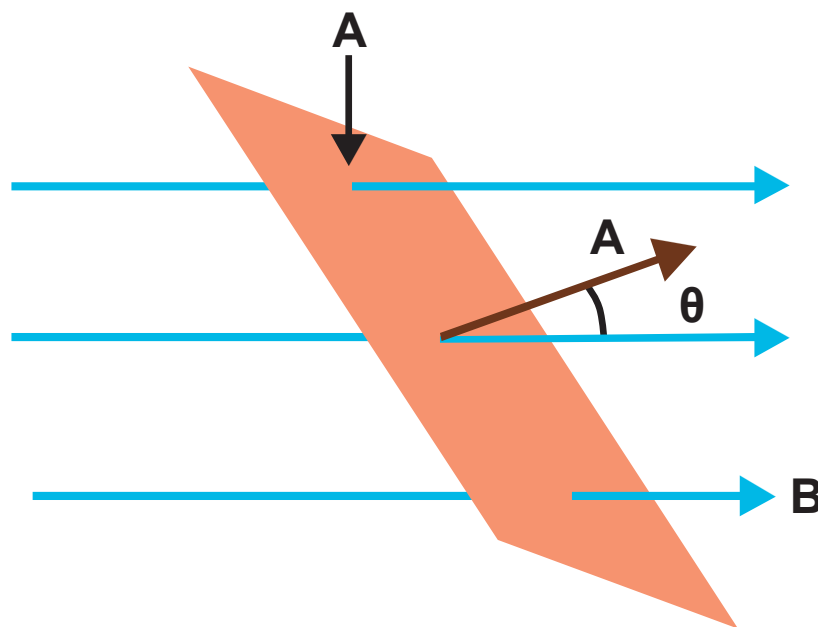
4-5 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ

Η ροή του μαγνητικού πεδίου ορίζεται με τρόπο ανάλογο με αυτόν που ορίστηκε η ροή του ηλεκτρικού πεδίου.

Έστω μια επίπεδη επιφάνεια εμβαδού A μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια είναι

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

όπου θ η γωνία ανάμεσα στις δυναμικές γραμμές και σε μια κάθετη στην επιφάνεια A . Μονάδα της μαγνητικής ροής είναι το 1 Wb (Βέμπερ).

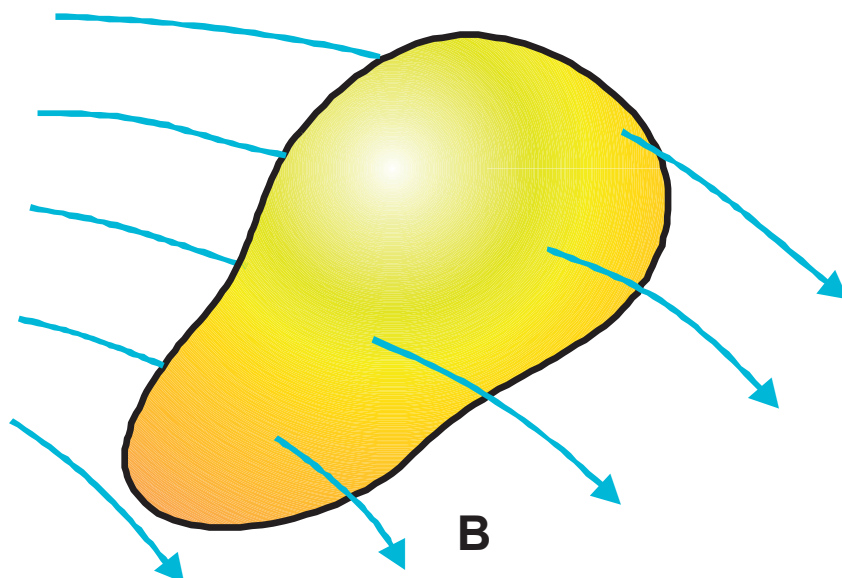


Σχ. 4.11 Η επιφάνεια A είναι τοποθετημένη σε ομογενές μαγνητικό πεδίο ώστε το κάθετο σ' αυτή διάνυσμα A να σχηματίζει γωνία θ με τις δυναμικές γραμμές.

Αν η επιφάνεια A δεν είναι επίπεδη ή αν το μαγνητικό πεδίο δεν είναι ομογενές ή αν συμβαίνουν και τα δύο, για να υπολογίσουμε τη μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια χωρίζουμε την επιφάνεια σε στοιχειώδη τμήματα ΔA , τόσο μικρά ώστε να μπορούν να θεωρηθούν επίπεδα και το μαγνητικό πεδίο στην περιοχή καθενός να μπορεί να θεωρηθεί σταθερό. Υπολογίζουμε τη ροή που διέρχεται από κάθε επιφάνεια ΔA . Το άθροισμα των μαγνητικών ροών που διέρχονται από αυτά τα στοιχειώδη τμήματα θα είναι η ροή που περνάει από την επιφάνεια A .

4-6 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ GAUSS ΣΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟ

Στην παράγραφο 3-3 είδαμε ότι η ηλεκτρική ροή που διέρχεται από μια κλειστή επιφάνεια είναι ανάλογη με το φορτίο που περικλείει η επιφάνεια. Αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στο ηλεκτρικό πεδίο, στο οποίο οι δυναμικές γραμμές είναι ανοικτές (ξεκινούν από φορτία ή καταλήγουν σε φορτία), στο μαγνητικό πεδίο οι γραμμές είναι κλειστές, δεν έχουν αρχή και τέλος. Συνέπεια αυτής της ιδιότητας είναι ότι για κάθε κλειστή επιφάνεια μέσα στο μαγνητικό πεδίο, ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που εισέρχονται είναι πάντα ίσος με τον αριθμό των γραμμών που εξέρχονται. Άρα η μαγνητική ροή που διέρχεται από μια οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν.



Σχ. 4.12 Για κάθε κλειστή επιφάνεια ο αριθμός των δυναμικών γραμμών που εισέρχονται είναι ίσος με τον αριθμό των γραμμών που εξέρχονται.

Η μαγνητική ροή που διέρχεται από μια κλειστή επιφάνεια είναι πάντοτε μηδενική. (Νόμος του Gauss στο μαγνητισμό)

$$\Phi_B = 0$$

(4.7)

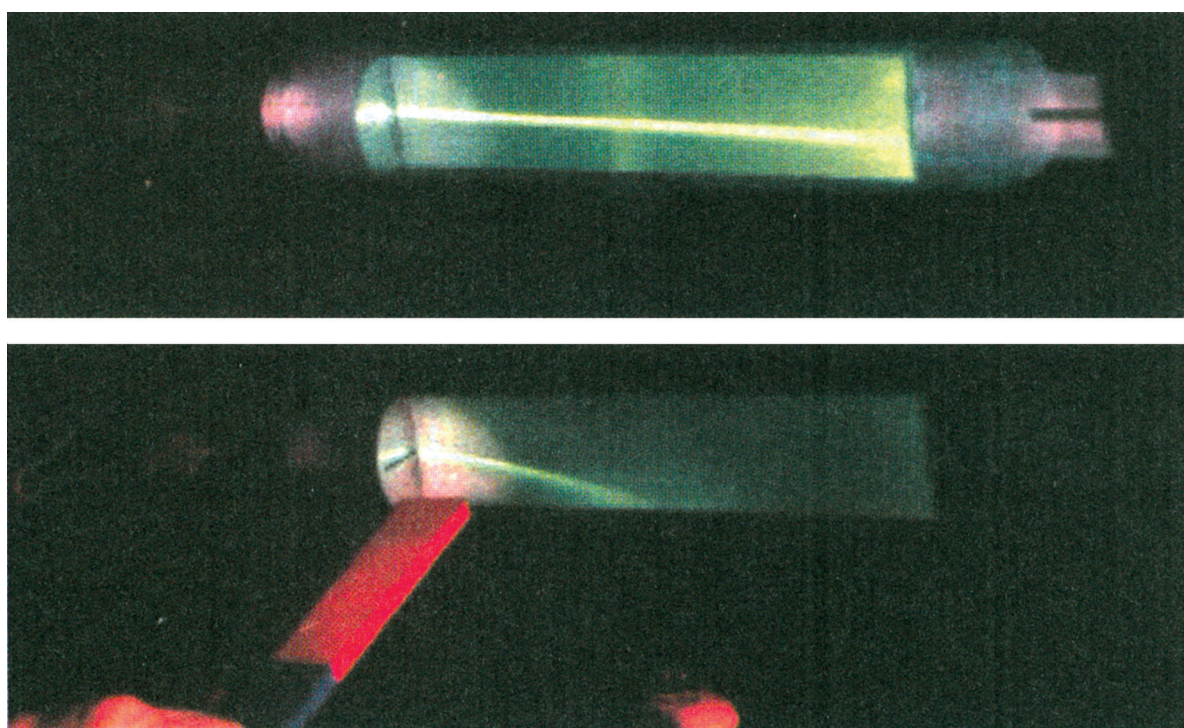
Το φυσικό περιεχόμενο αυτής της πρότασης είναι ότι δεν υπάρχουν σημειακές πηγές μαγνητικού πεδίου, όπως υπάρχουν στο ηλεκτρικό πεδίο. Δηλαδή δεν υπάρχει μαγνητικό ανάλογο του φορτίου. Τόσο ο Coulomb, όσο και άλλοι πίστευαν ότι ο μαγνητισμός παράγεται από «κάτι» ανάλογο με το ηλεκτρικό φορτίο. Σήμερα αυτό το ανάλογο το αποκαλούμε μαγνητικό μονόπολο, που σημαίνει απομονωμένος μαγνητικός πόλος. Ο Ampère ήταν ο πρώτος που υποστήριξε ότι όλα τα μαγνητικά φαινόμενα προέρχονται από ηλεκτρικά ρεύματα (φορτία σε κίνηση), και δικαιώθηκε. Σε κανένα πείραμα μέχρι τώρα δεν έχουν βρεθεί μαγνητικά μονόπολα. Η ύπαρξη ενός μονόπολου θα ήταν

εύκολο να ανιχνευτεί γιατί θα δημιουργούσε ακτινικό μαγνητικό πεδίο.

Η σχέση (4.7) δείχνει ότι δεν υπάρχουν άλλες πηγές μαγνητικού πεδίου εκτός από τα ρεύματα.

4-7 ΔΥΝΑΜΗ ΠΟΥ ΑΣΚΕΙ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ

Ένα ακίνητο φορτισμένο σωματίδιο δεν αντιδρά μέσα σε ένα στατικό μαγνητικό πεδίο. Αν όμως κινείται εκτρέπεται από την πορεία του, ένδειξη ότι το σωματίδιο δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο.

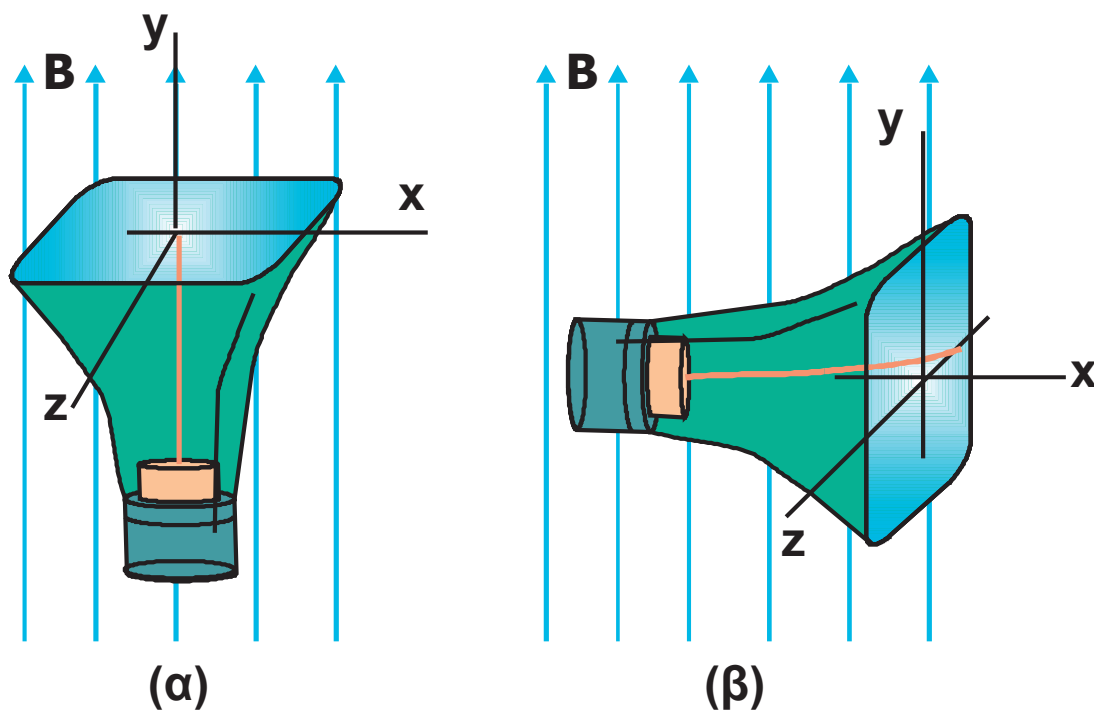


Εικ. 4.6 Η δέσμη ηλεκτρονίων που παράγεται στο σωλήνα καμπυλώνεται όταν πλησιάζουμε ένα μαγνήτη.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μας επιτρέπουν να παρακολουθήσουμε τη συμπεριφορά κινούμενων σωματιδίων μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Η εικόνα 4.6 δείχνει πώς μπορούμε να διαπιστώσουμε την εκτροπή

που υφίσταται μια δέσμη ηλεκτρονίων από το μαγνητικό πεδίο.

Από την εκτροπή που υφίσταται ένα φορτισμένο σωματίδιο προκύπτει ότι η δύναμη που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου, του φορτίου, της ταχύτητας του σωματίου και εξαρτάται και από την κατεύθυνση της κίνησης. Η δύναμη μεγιστοποιείται όταν το φορτισμένο σωματίδιο κινείται κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Σε άλλες κατευθύνσεις ελαττώνεται και μηδενίζεται όταν κινείται παράλληλα στις δυναμικές γραμμές. Σε κάθε περίπτωση η δύναμη αυτή, όταν ασκείται, είναι κάθετη στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου και στην ταχύτητα.



Σχ. 4.13 (α) Όταν η δέσμη των ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα είναι παράλληλη με το διάνυσμα $\mathbf{B}$ δεν υφίσταται εκτροπή. (β) Όταν η δέσμη κινείται σε οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση εκτρέπεται. Η μέγιστη εκτροπή παρατηρείται όταν η δέσμη είναι κάθετη στο $\mathbf{B}$.

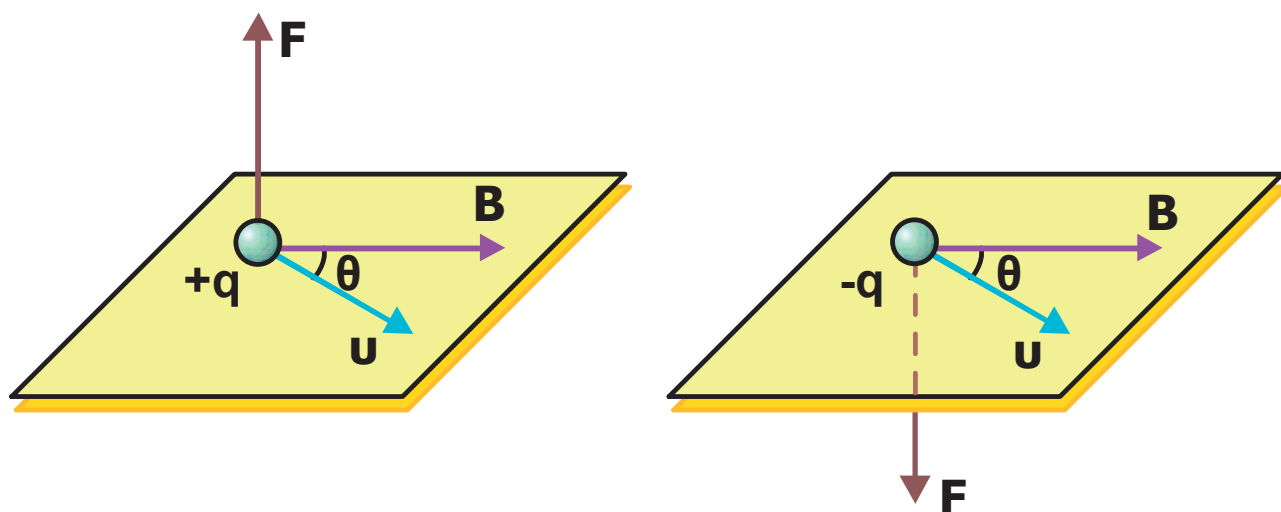
Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο στα κινούμενα φορτία δεν έχει την ίδια διεύθυνση με την ένταση του πεδίου, όπως συμβαίνει με το ηλεκτρικό και το βαρυτικό πεδίο.

Η φορά της δύναμης εξαρτάται από το πρόσημο του φορτίου. Φορτία με αντίθετο πρόσημο δέχονται δυνάμεις αντίθετης κατεύθυνσης.

Πειράματα ακριβείας έδειξαν ότι:
Το μαγνητικό πεδίο ασκεί στα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία δύναμη [ονομάζεται δύναμη Lorentz (Λόρεντζ)] μέτρου

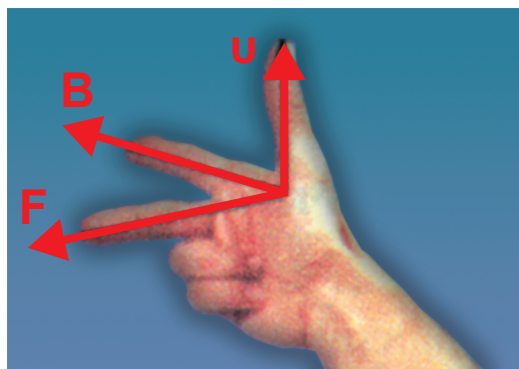
$$F = B |q| u \sin \theta \quad (4.8)$$

όπου θ η γωνία που σχηματίζει η ταχύτητα του σωματιδίου με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Η δύναμη αυτή είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του πεδίου και η φορά της δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού.



Σχ. 4.14 Η δύναμη που ασκείται από το μαγνητικό πεδίο σε ένα θετικό και ένα αρνητικό σωματίδιο που κινείται με ταχύτητα u .

Ο κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού εφαρμόζεται ως εξής:
Ο αντίχειρας, ο δείκτης και ο μέσος σχηματίζουν τρι-
σορθογώνιο σύστημα. Τοποθετούμε τον αντίχειρα στην
κατεύθυνση της κίνησης του θετικού φορτίου και στην
αντίθετη αν πρόκειται για αρνητικό. Τοποθετούμε το
δείκτη στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (B). Ο
μέσος δείχνει τότε την κατεύθυνση της δύναμης (εικ.
4.7).



Σχ. 4.7 Ο κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού.

Εφόσον η δύναμη είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητα του φορτίου, είναι κάθετη σε κάθε στοιχειώδη μετατόπισή του. Επομένως το έργο της σε κάθε τέτοια στοιχειώδη μετατόπιση είναι μηδέν. Συνδυάζοντας το συμπέρασμα αυτό με το θεώρημα έργου - ενέργειας συμπεραίνουμε ότι η δύναμη αυτή δεν μπορεί να μεταβάλλει την κινητική ενέργεια του φορτισμένου σωματιδίου.

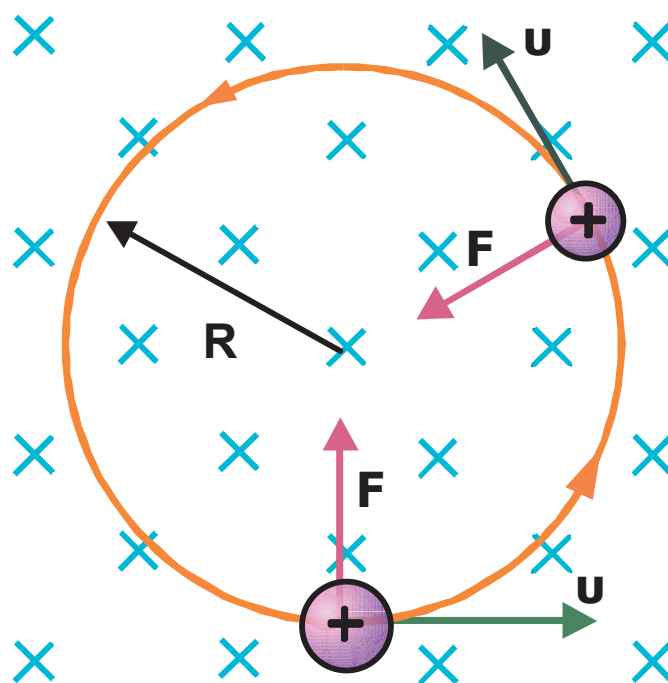
Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται με ταχύτητα u , μέσα σε μαγνητικό πεδίο, η δύναμη που του ασκεί το πεδίο μπορεί να μεταβάλλει την κατεύθυνση αλλά όχι και το μέτρο της ταχύτητάς του.

4-8 ΚΙΝΗΣΗ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο δέχεται από αυτό δύναμη που εξαρτάται από την ταχύτητά του. Θα μελετήσουμε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις της κίνησης φορτισμένου σωματιδίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

A) Κίνηση παράλληλα στις δυναμικές γραμμές

Αν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται παράλληλα στις δυναμικές γραμμές, η γωνία φ στη σχέση (4.8) είναι ή 0° ή 180° . Και στις δυο περιπτώσεις το ημίτονο της γωνίας είναι μηδέν, οπότε από τη σχέση (4.8) προκύπτει ότι το μαγνητικό πεδίο δεν ασκεί δύναμη στο σωματίδιο. Η κίνηση ενός τέτοιου σωματιδίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι ευθύγραμμη ομαλή.



Σχ. 4.15 Θετικά φορτισμένο σωματίδιο που κινείται με ταχύτητα u , κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου, δέχεται δύναμη σταθερού μέτρου, κάθετη στην ταχύτητά του. Το σωματίδιο διαγράφει κυκλική τροχιά μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

Β) Κίνηση κάθετα στις δυναμικές γραμμές

Έστω ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται με ταχύτητα u κάθετη στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου που έχει κατεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της σελίδας με φορά προς τα μέσα¹ (σχ. 4.15). Το μαγνητικό

¹ Η κατεύθυνση αυτού του πεδίου συμβολίζεται με $\times$. Είναι σαν να βλέπουμε το πίσω μέρος ενός βέλους που διαπερνά κάθετα τη σελίδα του βιβλίου, κατευθυνόμενο από τον αναγνώστη προς αυτήν. Αντίθετα θα συμβολίζουμε με απλές κουκκίδες ένα μαγνητικό πεδίο που κατευθύνεται από τη σελίδα προς τον αναγνώστη, απεικονίζοντας έτσι την αιχμή ενός βέλους.

πεδίο ασκεί στο σωματίδιο δύναμη το μέτρο της οποίας είναι

$$F = B |q| u \quad (4.9)$$

που προκύπτει από την (4.8), αν λάβουμε υπόψη ότι $\sin 90^\circ = 1$.

Η κατεύθυνση της δύναμης, για θετικά φορτισμένο σωματίδιο, φαίνεται στο σχήμα 4.15. Η δύναμη αυτή έχει σταθερό μέτρο και είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητα. Μια τέτοια δύναμη παίζει ρόλο κεντρομόλου δύναμης και αναγκάζει το σωματίδιο να κινηθεί κυκλικά.

Ένα φορτισμένο σωματίδιο που κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, κάθετα στις δυναμικές γραμμές, κάνει ομαλή κυκλική κίνηση.

Εφόσον η δύναμη F παίζει ρόλο κεντρομόλου δύναμης, θα ισχύει

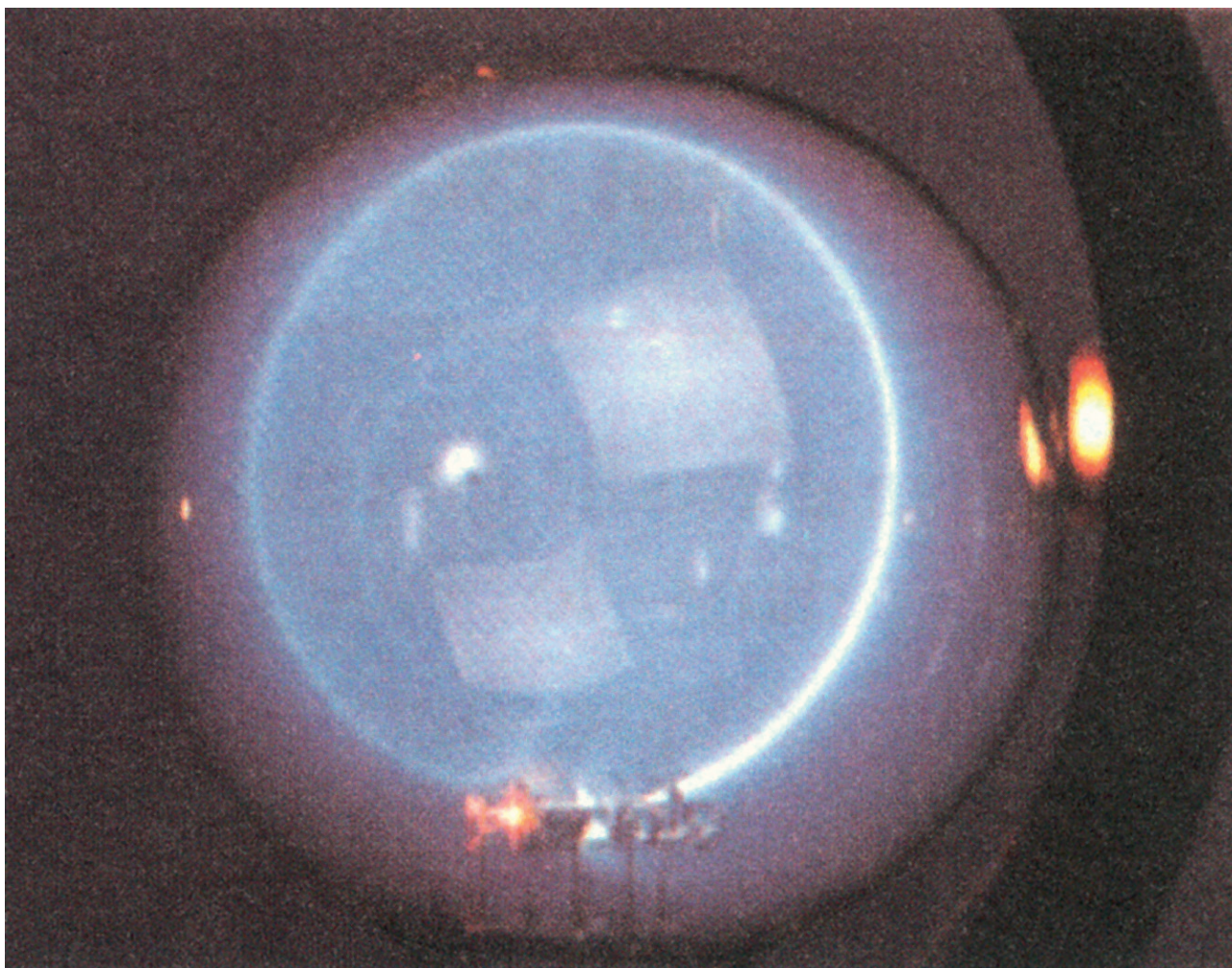
$$F = m \frac{u^2}{R} \quad (4.10)$$

όπου R η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς που διαγράφει το σωματίδιο. Από τις σχέσεις (4.9) και (4.10) έχουμε

$$B |q| u = m \frac{u^2}{R}$$

ή

$$R = \frac{mu}{B |q|} \quad (4.11)$$



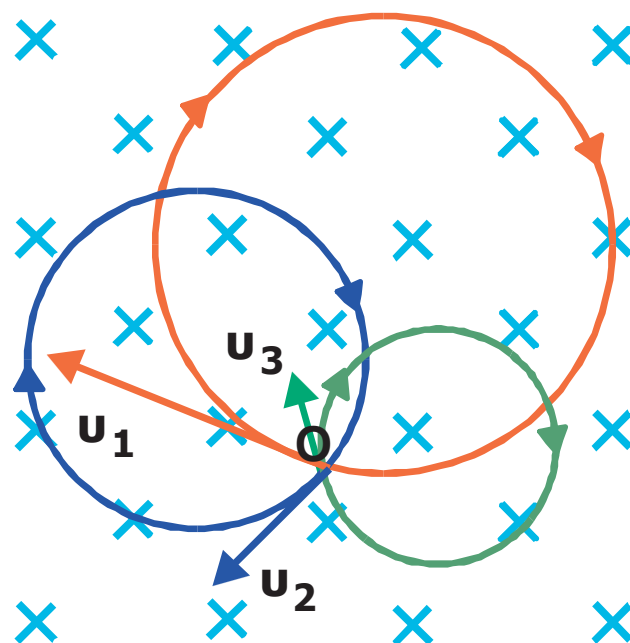
Εικ 4.8 Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της εκτροπής μιας δέσμης ηλεκτρονίων μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στη διεύθυνση κίνησης της δέσμης. Τα ηλεκτρόνια κινούνται κυκλικά.

Η περίοδος περιστροφής του σωματιδίου βρίσκεται αν πάρουμε υπόψη ότι $u = \frac{2\pi}{T} R$. Αν αντικαταστήσουμε την ακτίνα, από τη σχέση (4.11) προκύπτει

$$T = \frac{2\pi m}{B|q|}$$

(4.12)

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι η περίοδος περιστροφής, δεν εξαρτάται από την ταχύτητα ή την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς αλλά μόνο από το είδος του σωματιδίου (μάζα και φορτίο). Έτσι, αν σε ένα μαγνητικό πεδίο κινούνται κάθετα στις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρόνια που έχουν διαφορετικές ταχύτητες, θα διαγράφουν κύκλους διαφορετικών ακτίνων αλλά οι περίοδοι περιστροφής τους θα είναι ίδιες (σχ. 4.16).



Σχ. 4.16 Τρία ηλεκτρόνια βάλλονται με διαφορετικές ταχύτητες κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου στο σημείο O . Η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς είναι ανάλογη της ταχύτητας. Η περίοδος είναι ίδια και στις τρεις περιπτώσεις.

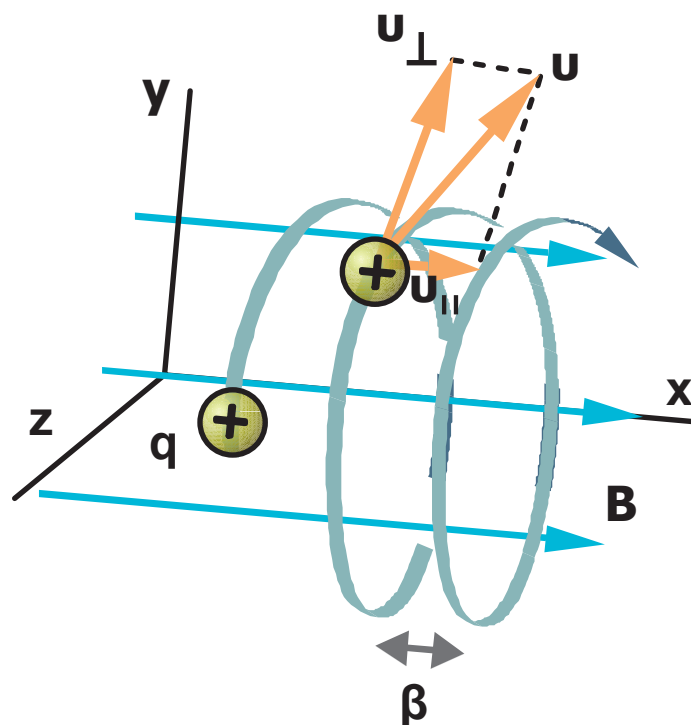
Γ) Κίνηση με τυχαία γωνία ως προς τις δυναμικές γραμμές

Έστω ένα σωματίδιο που εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο και η κατεύθυνση της ταχύτητας σχηματίζει με τις δυναμικές γραμμές γωνία $0 < \varphi < 90^\circ$. Αναλύουμε

την ταχύτητά του u σε μια συνιστώσα παράλληλη ($u_{||}$) και μια κάθετη ($u_{\perp}$) στις δυναμικές γραμμές. Αν το σωματίδιο είχε μόνο τη $u_{||}$ θα έκανε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση (περίπτωση Α). Αν είχε μόνο τη $u_{\perp}$ θα έκανε ομαλή κυκλική κίνηση (περίπτωση Β). Από τη σύνθεση των δύο κινήσεων προκύπτει μια ελικοειδής κίνηση (σχ. 4.17), με ακτίνα $R = \frac{m u_{\perp}}{B|q|}$ και περίοδο $T = \frac{2\pi m}{B|q|}$.

Σε χρόνο μιας περιόδου το σωματίδιο προχωράει στη διεύθυνση του άξονα των x κατά $\beta = u_{||} \cdot T = u_{||} \frac{2\pi m}{B|q|}$.

Η σταθερή αυτή απόσταση την οποία διανύει το σώμα στη διεύθυνση του πεδίου στο χρόνο κάθε περιόδου ονομάζεται βήμα της έλικας.



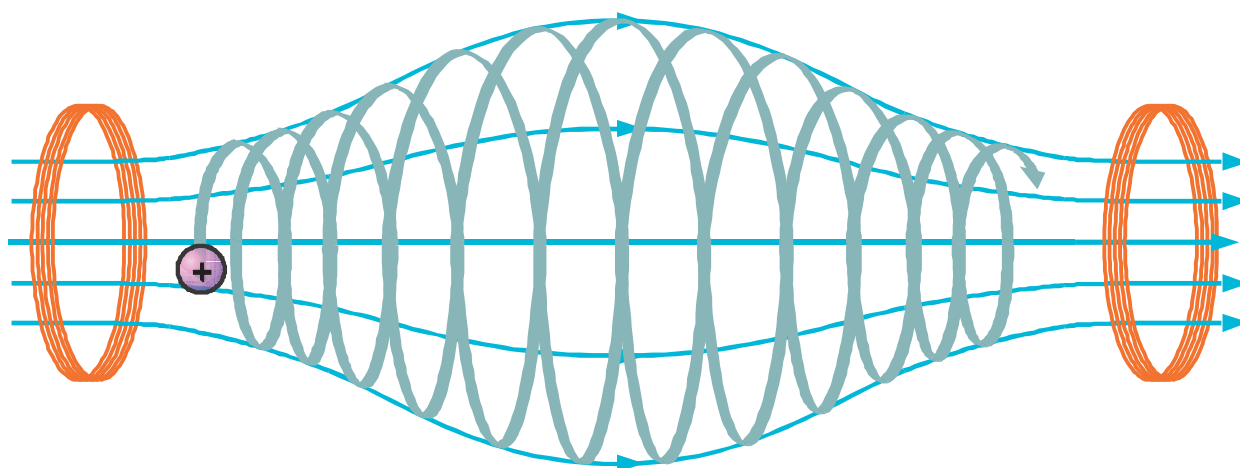
Σχ. 4.17 Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου που βάλλεται πλάγια στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου.

Δ) Κίνηση σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο

Η τροχιά που διαγράφει ένα φορτισμένο σωματίδιο μέσα σε ανομοιογενές μαγνητικό πεδίο είναι γενικά πολύπλοκη και εξαρτάται κάθε φορά από τη μορφή του πεδίου.

Το σχήμα 4.18 δείχνει ένα ανομοιογενές πεδίο που δημιουργείται από δυο κυκλικά πηνία (πηνία που το μήκος τους είναι πολύ μικρότερο από τη διάμετρό τους), τα οποία έχουν τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση, με τα επίπεδά τους παράλληλα. Ένα τέτοιο πεδίο είναι ισχυρό κοντά στα πηνία και ασθενές στο μέσο της διάταξης.

Ένα φορτισμένο σωματίδιο που ξεκινάει από το ένα άκρο του πεδίου κάνει ελικοειδή κίνηση. Όταν φτάσει στο άλλο άκρο του πεδίου η κίνησή του αναστρέφεται και το σωματίδιο, διαγράφοντας και πάλι ελικοειδή τροχιά, επιστρέφει στο σημείο εκκίνησης. Η κίνηση αυτή του σωματιδίου επαναλαμβάνεται διαρκώς.



Σχ. 4.18 Μαγνητική φιάλη.

Ένα τέτοιο πεδίο παγιδεύει τα φορτισμένα σωματίδια και αναφέρεται συχνά ως «μαγνητική φιάλη».

Σε μαγνητικές φιάλες έχει επιτευχθεί η παγίδευση μεγάλων ποσοτήτων πλάσματος (δηλαδή «αερίου» που βρίσκεται σε θερμοκρασία πάνω από 10^6 K και αποτελείται από ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα). Η παγίδευση του πλάσματος είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να λυθούν προκειμένου να επιτύχουμε ελεγχόμενη θερμοπυρηνική σύντηξη και να εκμεταλλευτούμε για ειρηνικούς σκοπούς την ενέργεια που μας δίνει.

Μια μαγνητική φιάλη, που μόλις περιγράψαμε, σχηματίζει το μαγνητικό πεδίο της Γης. Όπως είναι γνωστό, οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου της Γης έχουν ίδια μορφή με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός ευθύγραμμου μαγνήτη που θα είχε τους πόλους του κοντά στους γεωγραφικούς πόλους της Γης. Οι δυναμικές γραμμές αυτού του πεδίου είναι πυκνότερες στους πόλους.

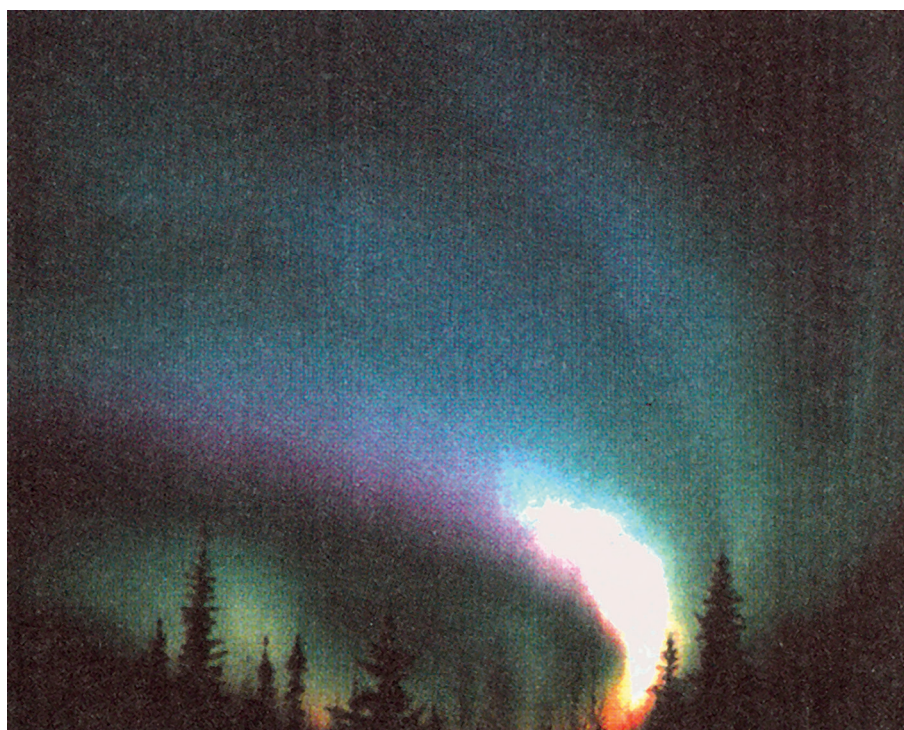
Στην ατμόσφαιρα της Γης εισέρχονται φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, που στο μεγάλο μέρος τους προέρχονται από τον Ήλιο. Μερικά από τα σωματίδια αυτά εγκλωβίζονται στο μαγνητικό πεδίο της Γης και κινούνται διαρκώς από τον ένα πόλο στον άλλο.

Το 1958, διαπιστώθηκε από τις καταγραφές των οργάνων που έφερε ο δορυφόρος Explorer 1 ότι η Γη περιβάλλεται από δυο ζώνες στις οποίες παρατηρήθηκε μεγάλη πυκνότητα φορτισμένων σωματιδίων. Οι ζώνες αυτές ονομάστηκαν ζώνες Van Allen (Βαν Άλεν) και αποτελού-

νται από δυο δακτυλίους που απέχουν από τη Γη 3.000 km, ο εσωτερικός, και 15.000 km, ο εξωτερικός.

Η πυκνότητα των φορτισμένων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα μεγάλη κοντά στους πόλους, όπου οι δυναμικές γραμμές του πεδίου πυκνώνουν. Εκεί, οι κρούσεις των φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα των αερίων της ατμόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή ορατής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται «ακτινοβολία Cerenkov» (Τσερένκοφ).

Το βόρειο σέλας, που απεικονίζεται στο εξώφυλλο αυτού του βιβλίου και στην εικόνα 4.9, είναι αποτέλεσμα αυτής της ακτινοβολίας. Αντίστοιχο φαινόμενο, βέβαια, εκδηλώνεται και κοντά στο νότιο πόλο.



Εικ. 4.9 Βόρειο σέλας.

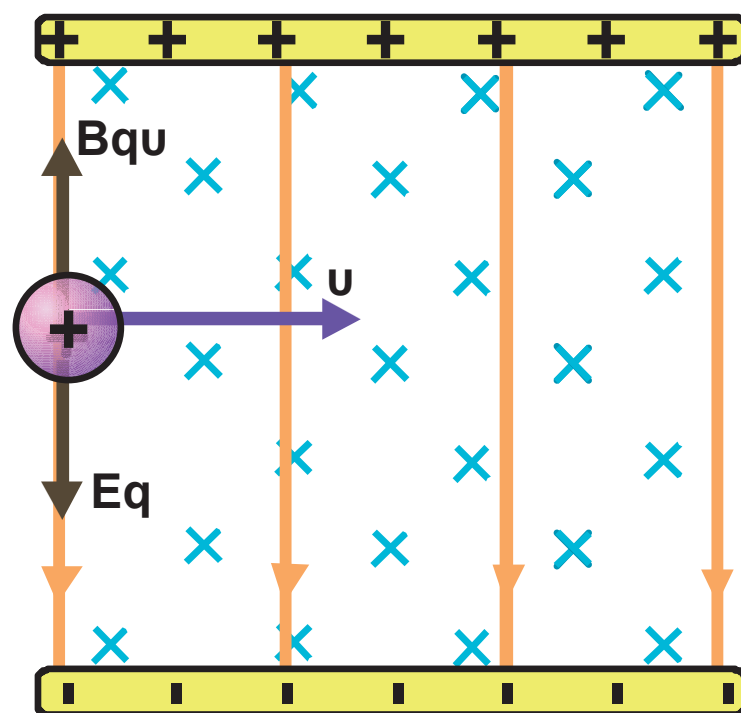
4-9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΕΠΙΛΟΓΕΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Ένα φορτισμένο σωματίδιο με μάζα m και φορτίο q εισέρχεται με ταχύτητα u σε μια περιοχή όπου συνυπάρχουν ομογενές ηλεκτρικό και ομογενές μαγνητικό πεδίο, κάθετα μεταξύ τους. Η ταχύτητα του σωματιδίου είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές και των δύο πεδίων (σχ. 4.19). Το ηλεκτρικό πεδίο είναι κατακόρυφο προς τα κάτω ενώ το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο στο επίπεδο της σελίδας, με φορά προς τα μέσα. Αν το q είναι θετικό, από το ηλεκτρικό πεδίο δέχεται δύναμη μέτρου

$|q|E$ με φορά προς τα κάτω, ενώ από το μαγνητικό δύναμη $B|q|u$ με φορά προς τα πάνω. Εάν επιλέξουμε τις εντάσεις των πεδίων ώστε η ηλεκτρική δύναμη να εξισορροπείται από τη μαγνητική, το σωματίδιο θα συνεχίσει ανεπηρέαστο την πορεία του. Εξισώνοντας τη μαγνητική και την ηλεκτρική δύναμη ($B|q|u = E|q|$), βρίσκουμε

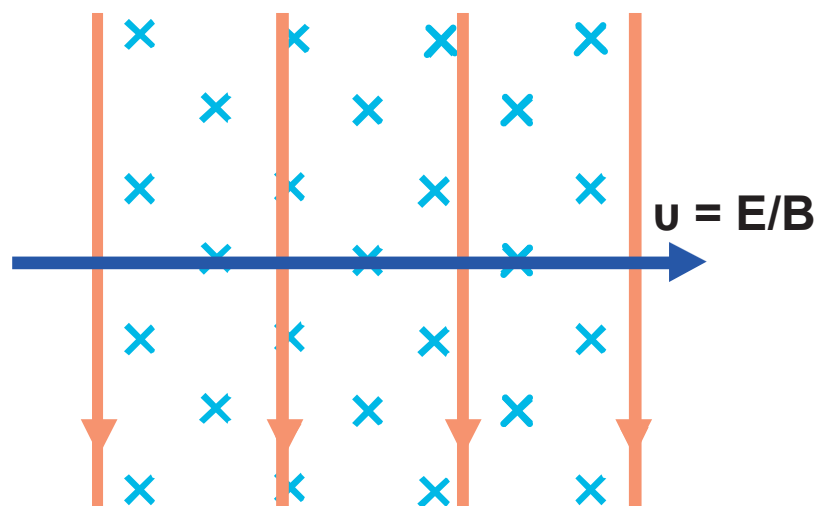
$$u = \frac{E}{B} \quad (4.13)$$



Σχ. 4.19 Φορτισμένο σωματίδιο εισέρχεται με ταχύτητα u , σε χώρο όπου υπάρχει ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην ταχύτητα του σωματιδίου.

Αν όλα τα φορτισμένα σωματίδια μιας δέσμης έχουν ταχύτητα $u = \frac{E}{B}$ δεν εκτρέπονται από το σύνθετο πεδίο.

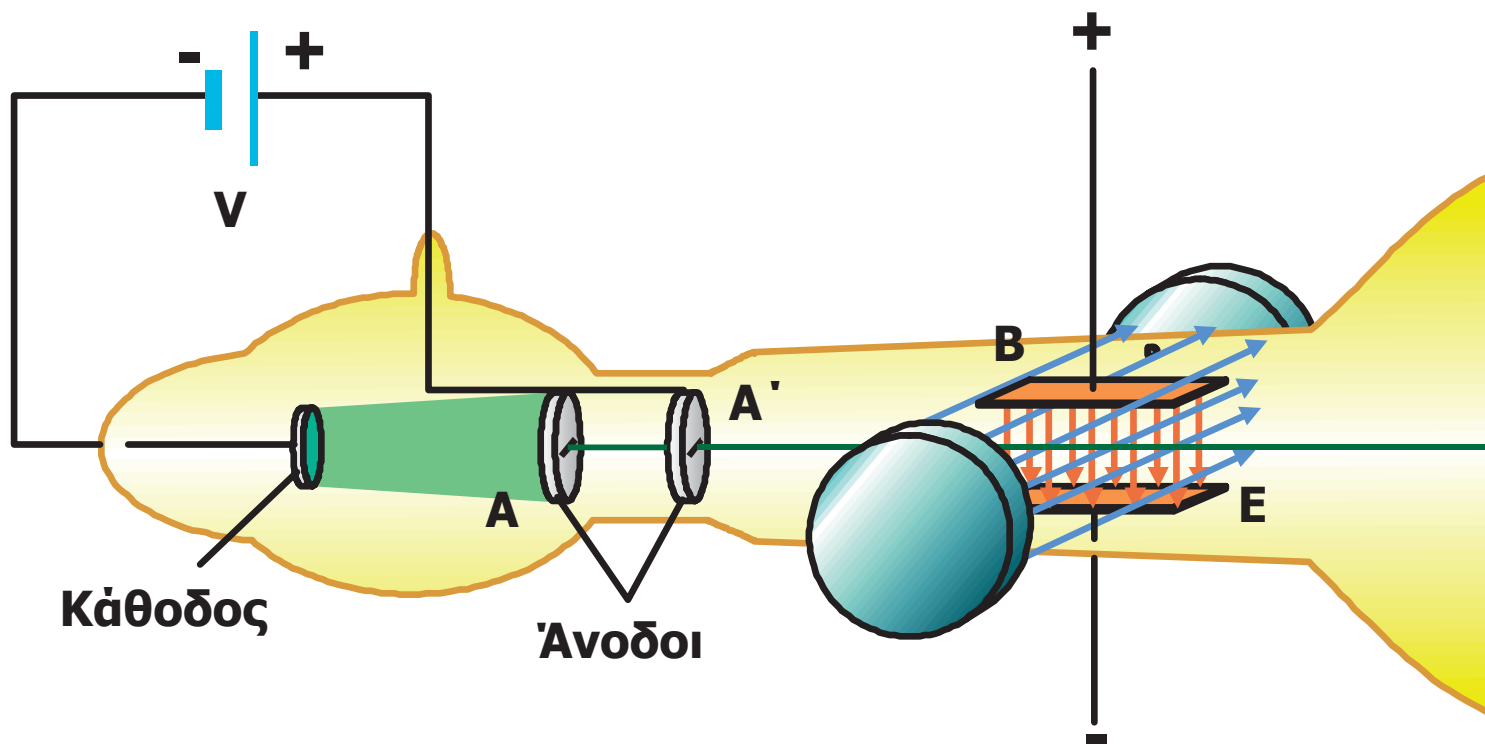
Αν όμως η δέσμη αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια με διαφορετικές ταχύτητες, τότε μόνο αυτά που έχουν ταχύτητα $u = \frac{E}{B}$ θα συνεχίσουν την ευθύγραμμη πορεία τους (σχ. 4.20). Μια τέτοια διάταξη επιτρέπει να απομονώσουμε τα σωματίδια ορισμένης ταχύτητας και γι' αυτό λέγεται «επιλογέας ταχυτήτων» ή «φίλτρο ταχυτήτων».



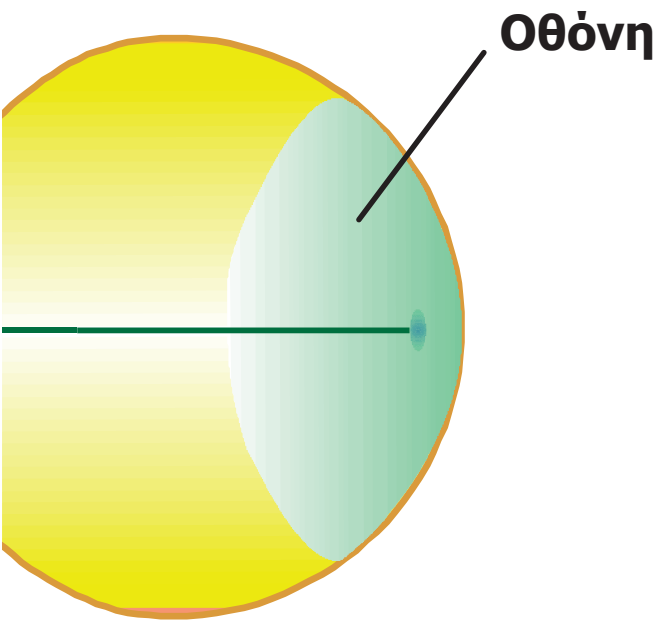
Σχ. 4.20 Από τα θετικά φορτισμένα σωματίδια της δέσμης μόνο όσα έχουν ταχύτητα $u = E/B$ συνεχίζουν να κινούνται ευθύγραμμα ομαλά.

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ THOMSON (ΤΟΜΣΟΝ) ΚΑΙ Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ e/m

Αν και από την εποχή του Faraday υπέθεταν την ύπαρξη ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων μέσα στα άτομα, μόλις στο τέλος του προηγούμενου αιώνα (1897), ο J. J. Thomson απόδειξε πειραματικά την ύπαρξη ενός τέτοιου σωματιδίου, του ηλεκτρονίου. Το πείραμα του Thomson έγινε στο εργαστήριο του Cavendish του πανεπιστημίου του Cambridge, με μια συσκευή σαν αυτή που φαίνεται στο σχήμα 4.21.



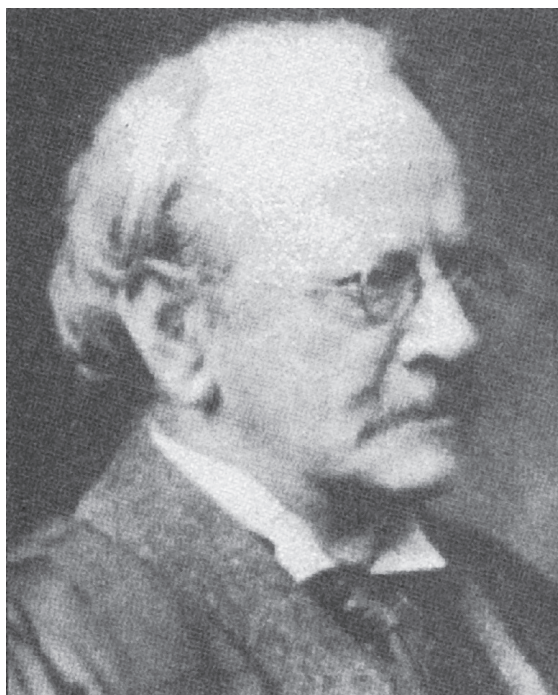
Σχ. 4.21



Μέσα σε έναν καθοδικό σωλήνα, στον οποίο επικρατεί υψηλό κενό, ηλεκτρόνια που προέρχονται από μια πυρακτωμένη κάθοδο, επιταχύνονται από τη διαφορά δυναμικού V ανάμεσα στην κάθοδο και τις ανόδους A και A' και σχηματίζουν μια δέσμη. Σύμφωνα με το θεώρημα έργου-ενέργειας η κινητική ενέργεια που θα αποκτήσουν τα ηλεκτρόνια είναι ίση με το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου

$$\frac{1}{2}mu^2 = Ve \quad \text{ή} \quad u = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (4.14)$$

όπου e το φορτίο του ηλεκτρονίου κατ' απόλυτη τιμή.



Εικ. 4.10 J.J.Thomson (1856-1940). Αγγλία. Από τους σημαντικότερους φυσικούς της τελευταίας εκατονταετίας. Οι εργασίες του συνέβαλαν ουσιαστικά στην ανάπτυξη της σύγχρονης ατομικής φυσικής. Τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ (1906).

Η δέσμη των ηλεκτρονίων εισέρχεται σε ένα φίλτρο ταχυτήτων, σαν αυτό που περιγράψαμε προηγουμένως, και στη συνέχεια πέφτει σε μια οθόνη, στο άκρο του σωλήνα, η οποία είναι καλυμμένη με υλικό που φθορίζει. Στο σημείο που τα ηλεκτρόνια πέφτουν πάνω στην οθόνη το φθορίζον υλικό φωτοβολεί. Τα ηλεκτρόνια διέρχονται χωρίς απόκλιση από το φίλτρο ταχυτήτων μόνο όταν η ταχύτητά τους είναι $u = E/B$ ή σύμφω-

να με την (4.14) όταν $\frac{E}{B} = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$ από όπου βρίσκουμε ότι $\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2VB^2}$.

Οι ποσότητες E , V και B μπορούν να μετρηθούν και έτσι να προσδιοριστεί το πηλίκο e/m .

Ο Thomson βρήκε ότι το πηλίκο αυτό έχει πάντοτε την ίδια τιμή, ανεξάρτητα από το υλικό της καθόδου ή οποιαδήποτε άλλη συνθήκη του πειράματος. Το γεγονός αυτό έδειξε ότι τα σωματίδια της δέσμης, τα οποία τώρα πια ονομάζονται ηλεκτρόνια, είναι κοινό συστατικό όλης της ύλης. Έτσι, στον Thomson αποδίδεται η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου.

Μια αποδεκτή σήμερα τιμή του πηλίκου αυτού είναι

$$e/m = 1,75881962 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$

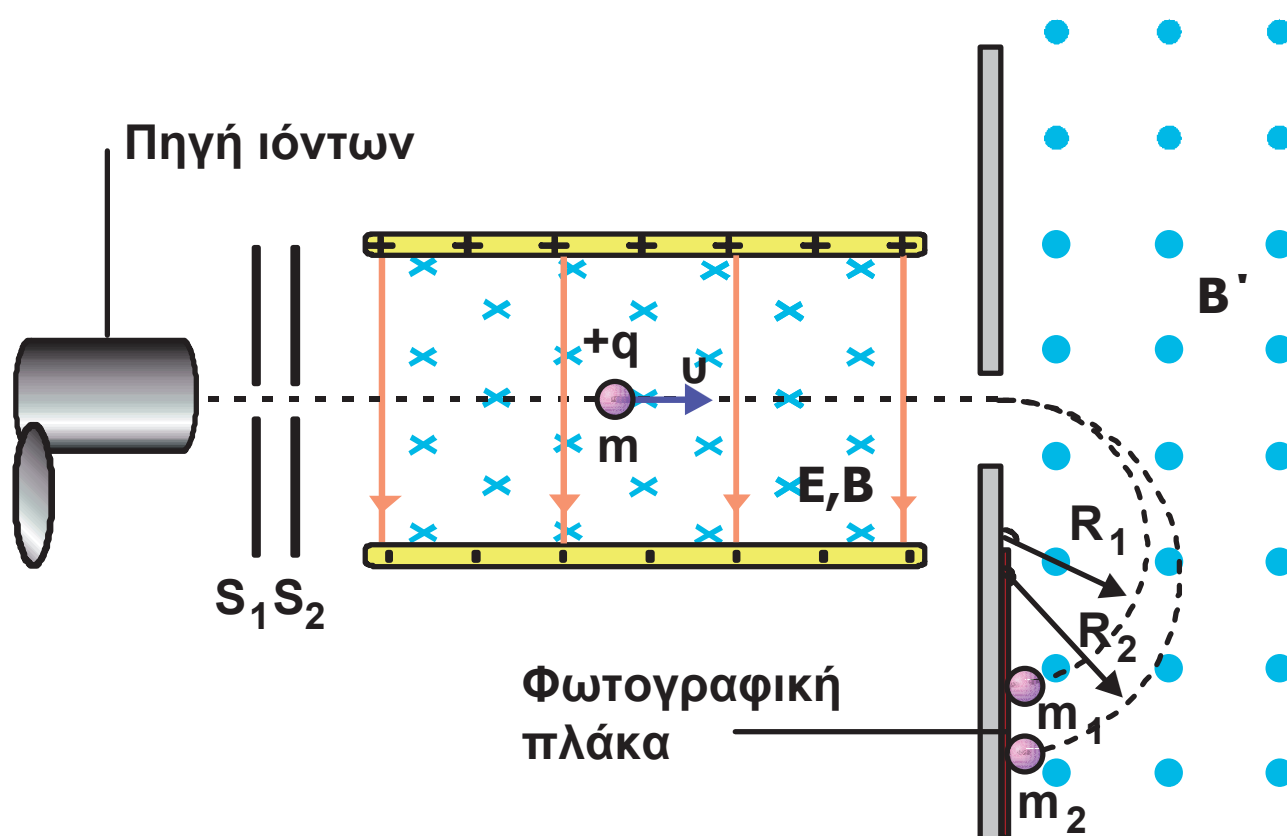
Ο Thomson απέδωσε τη μεγάλη τιμή του πηλίκου στη «μικρότητα της μάζας m ή στο μεγάλο φορτίο e , ή σε ένα συνδυασμό και των δύο». Δεκαπέντε χρόνια αργότερα ο Millikan υπολόγισε το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο. Η τιμή του e και η τιμή του πηλίκου που υπολόγισε ο Thomson έκαναν δυνατό τον προσδιορισμό της μάζας του ηλεκτρονίου. Μια αποδεκτή σήμερα τιμή της μάζας του ηλεκτρονίου είναι $m_e = 9,1093897 \times 10^{-31} \text{ kg}$. Για την εργασία του ο Thomson τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ.

ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΟΣ ΜΑΖΑΣ

Ο φασματογράφος μάζας είναι ένα όργανο που διαχωρίζει ιόντα που έχουν διαφορετικό πηλίκο μάζας προς φορτίο.

Ο πρώτος φασματογράφος μάζας, κατασκευάστη-

κε το 1919 από τον Francis Aston (Άστον), μαθητή του Thomson. Στο σχήμα 4.22 φαίνεται μια παραλλαγή αυτού του φασματογράφου, που κατασκευάστηκε από τον Bainbridge (Μπέινμπριτζ).



Σχ. 4.22 Ο φασματογράφος μάζας του Bainbridge χρησιμοποιεί ένα φίλτρο ταχυτήτων για την παραγωγή δέσμης ιόντων με την ίδια ταχύτητα. Στην περιοχή του μαγνητικού πεδίου B' , τα ιόντα με τη μεγαλύτερη μάζα κινούνται σε τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας.

Ιόντα από μια πηγή περνούν μέσα από τις σχισμές S_1 και S_2 σχηματίζοντας μια λεπτή δέσμη. Στη συνέχεια τα ιόντα περνούν μέσα από ένα φίλτρο ταχυτήτων με

πεδία E και B , από όπου διέρχονται μόνο εκείνα που έχουν ταχύτητα

$$v = \frac{E}{B} \quad (4.15)$$

Τέλος, τα ιόντα εισέρχονται σε μια περιοχή όπου υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο B' , κάθετο στην ταχύτητά τους. Το μαγνητικό πεδίο τα αναγκάζει να κινηθούν σε ημικυκλική τροχιά, ακτίνας R , μέχρι να πέσουν πάνω σε μια φωτογραφική πλάκα. Από το ίχνος που αφήνουν στη φωτογραφική πλάκα μας είναι γνωστή η ακτίνα της τροχιάς που διέγραψαν.

Η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι

$$R = \frac{mv}{B'q} \quad (4.16)$$

Από (4.15) και (4.16) προκύπτει

$$\frac{m}{q} = \frac{RB B'}{E} \quad (4.17)$$

Η ακτίνα R υπολογίζεται από το ίχνος που αφήνουν τα ιόντα στη φωτογραφική πλάκα ενώ τα πεδία E , B και B' είναι γνωστά.

Δύο σωματίδια με ίδιο φορτίο αλλά με διαφορετική μάζα θα αφήσουν στη φωτογραφική πλάκα διαφορετικά ίχνη (σχ. 4.22).

Ένα από τα πρώτα αποτελέσματα που έδωσε ο φασματογράφος μάζας ήταν ότι το νέον αποτελείται από δύο είδη ατόμων, με γραμμοατομικές μάζες 20 g/mol και 22 g/mol αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό αριθμό νετρονίων που έχουν στον πυρήνα τους τα δύο αυτά

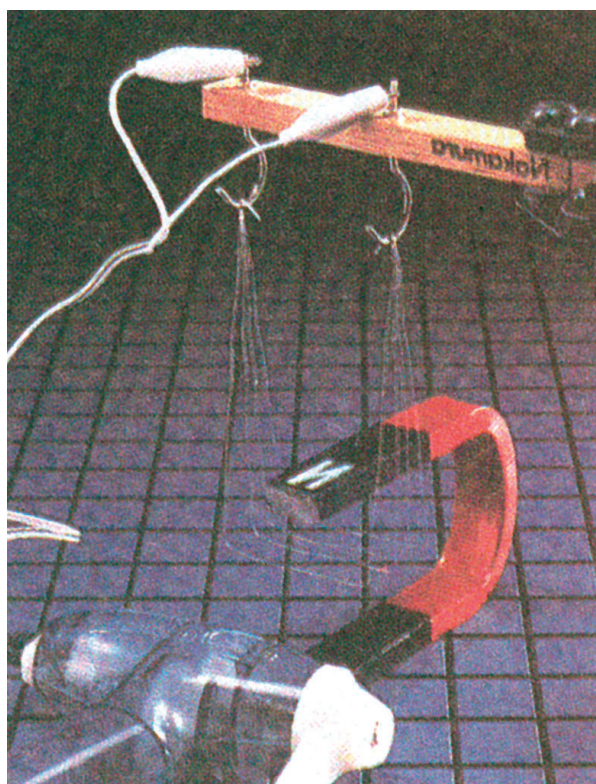
είδη ατόμων νέου. Άτομα των οποίων οι πυρήνες έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (ατομικός αριθμός) αλλά διαφορετικό αριθμό νουκλεονίων δηλαδή, πρωτονίων και νετρονίων (μαζικό αριθμό), ονομάζονται **ισότοπα**. Μεταγενέστερα πειράματα έδειξαν ότι πολλά στοιχεία έχουν ισότοπα. Για παράδειγμα το χλώριο υπάρχει με μαζικό αριθμό 35 (είναι και το 75% του χλωρίου στη φύση) και με μαζικό αριθμό 37 (το 25%), ο άνθρακας με μαζικό 12 αλλά και με μαζικό 14 κ.ο.κ.

Στην πράξη, με τη σχέση (4.17), μετράμε τις μάζες των διαφόρων ισοτόπων ενός δεδομένου ιόντος με γνωστό φορτίο. Επίσης, μπορούμε να μετρήσουμε και τους λόγους των μαζών, ακόμη και εάν δε γνωρίζουμε το φορτίο.

4-10 ΔΥΝΑΜΗ LAPLACE (ΛΑΠΛΑΣ)

Όπως είδαμε, ένα ηλεκτρικό φορτίο που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη από το πεδίο. Λογικό είναι να περιμένουμε ότι ένας ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο θα δέχεται δύναμη από το πεδίο. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι το αποτέλεσμα της κίνησης πολλών φορτισμένων σωματιδίων μέσα στον αγωγό. Σε καθένα από αυτά τα σωματίδια το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη. Η συνολική δύναμη που δρα πάνω σε έναν αγωγό, είναι το μακροσκοπικό αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κάθε φορτισμένο σωματίδιο που κινείται μέσα στον αγωγό. Έτσι, μπορούμε, από τη δύναμη που δέχεται ένα σωματίδιο να υπολογίσουμε τη δύναμη που δέχεται ο ρευματοφόρος αγωγός. Ο υπολογισμός αυτός δίνεται στο τέλος της παραγράφου.

Το ότι το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη σε έναν αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα, μπορούμε να το διαπιστώσουμε με τη διάταξη της εικόνας 4.11. Ένας οριζόντιος αγωγός ισορροπεί ανάμεσα στους πόλους ενός πεταλοειδούς μαγνήτη. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα μετακινείται. Αν αντιστρέψουμε τη φορά του μαγνητικού πεδίου, ο αγωγός θα μετακινηθεί στην αντίθετη κατεύθυνση.



Εικ. 4.11 Όταν ο αγωγός που βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη διαρρέεται από ρεύμα εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας του. Η εκτροπή του είναι αποτέλεσμα της δύναμης που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο.

Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε έναν αγωγό ονομάζεται **δύναμη Laplace**.

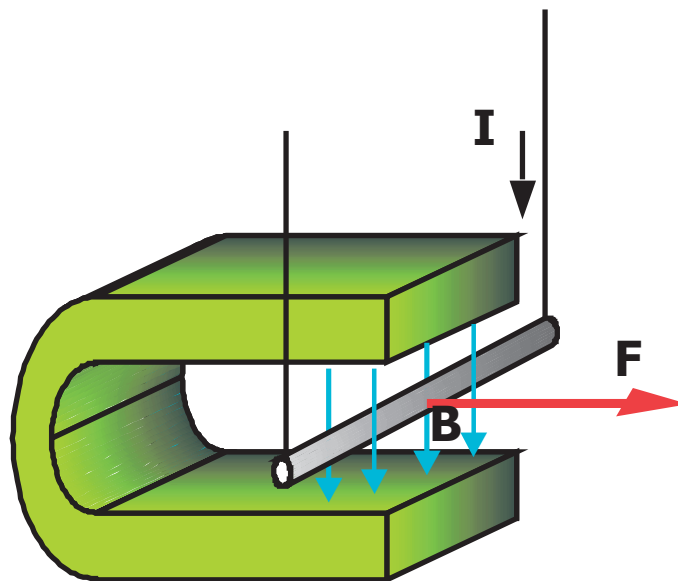
Το μαγνητικό πεδίο ασκεί σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται μέσα σ' αυτό δύναμη

$$F = BIl \sin \varphi$$

(4.18)

όπου φ η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τις δυναμικές γραμμές, l το μήκος του αγωγού και I το ρεύμα που τον διαρρέει. Η δύναμη είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και τις δυναμικές γραμμές και η φορά της δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού:

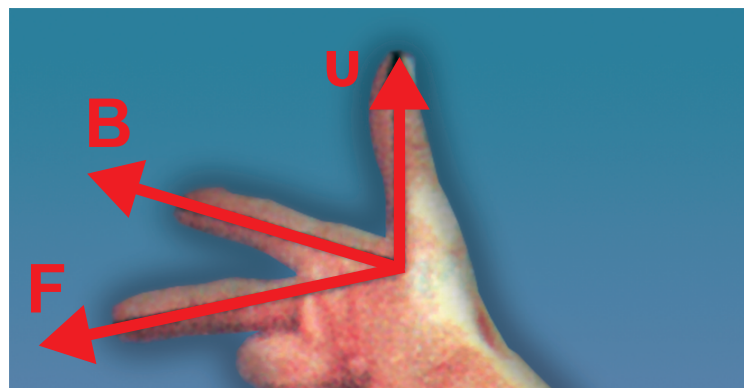
Σχηματίζουμε τρισσορθογώνιο σύστημα με τα τρία δάκτυλα (αντίχειρας, δείκτης, μέσος) του δεξιού χεριού. Αν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ρεύματος και ο δείκτης τη φορά του πεδίου, ο μέσος θα δείχνει τη φορά της δύναμης (εικ. 4.12).



Σχ. 4.23 Η δύναμη Laplace που ασκεί το μαγνητικό πεδίο στον αγωγό είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και τις δυναμικές γραμμές. Η φορά της δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού.

Από τη σχέση (4.18) προκύπτει ότι αν ο ρευματοφόρος αγωγός είναι παράλληλος στο μαγνητικό πεδίο ($\varphi = 0^\circ$ ή $\varphi = 180^\circ$) δε δέχεται δύναμη από αυτό, ενώ αν είναι κάθετος στο μαγνητικό πεδίο ($\varphi = 90^\circ$) η δύναμη που δέχεται από το πεδίο παίρνει τη μέγιστη τιμή της $F = BIl$.

Αν ο αγωγός δεν είναι ευθύγραμμος, τον χωρίζουμε σε μικρά τμήματα, μήκους Δl , τόσο μικρά ώστε το κάθετο από αυτά να μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο και υπολογίζουμε τη δύναμη που ασκείται σε κάθε ένα από αυτά. Η δύναμη που δέχεται ο αγωγός είναι η συνισταμένη αυτών των δυνάμεων.



Εικ. 4.12 Επεξήγηση του κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού για τη δύναμη Laplace.

Απόδειξη της σχέσης $F = BIl \eta \mu \phi$

Το κάθε φορτίο που κινείται μέσα στον αγωγό δέχεται δύναμη ($B|q|v \eta \mu \phi$).

Για να βρούμε τη δύναμη που δέχεται ο αγωγός θα πολλαπλασιάσουμε τη δύναμη που δέχεται κάθε φορτίο με το συνολικό αριθμό των φορέων φορτίου μέσα στον αγωγό. Αν n είναι οι φορείς φορτίου ανά μονάδα όγκου, επειδή ο όγκος του σύρματος είναι $A \cdot l$ (A : η διατομή του σύρματος), ο ολικός αριθμός φορέων φορτίου είναι $nA \cdot l$.

Η ολική δύναμη που δέχεται ο αγωγός είναι

$$F = nAl B|q|v \eta \mu \phi \quad (4.19)$$

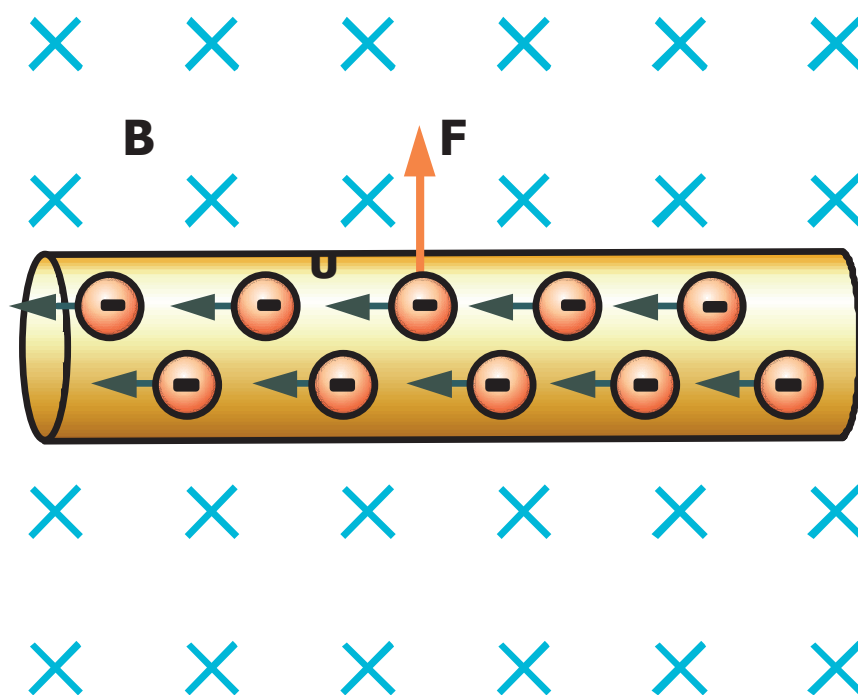
Όμως το γινόμενο $nA|q|v$ δίνει το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό. Πράγματι, η ταχύτητα των φορέων γράφεται $v = \Delta x / \Delta t$ οπότε $nA|q|v = nA|q| \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Το γινόμενο $A\Delta x$ δίνει τον όγκο του τμήματος του αγωγού μήκους Δx , οπότε το γινόμενο $nA\Delta x$ είναι ο ολικός αριθμός φορέων σ' αυτό το τμήμα του αγωγού και το

$|q|nA\Delta x$ είναι το ολικό φορτίο $|\Delta Q|$ που μετακινείται στο τμήμα Δx του αγωγού

$$nA|q|v = nA|q| \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{|\Delta Q|}{\Delta t} = I \quad (4.20)$$

και η σχέση (4.19) γίνεται $F = nBIl \eta \mu \phi$



Σχ. 4.24 Ένα στοιχειώδες τμήμα ρευματοφόρου αγωγού μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια που κινούνται στον αγωγό δέχονται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο. Η δύναμη σημειώνεται ενδεικτικά πάνω σε ένα φορτίο.

Ορισμός του B

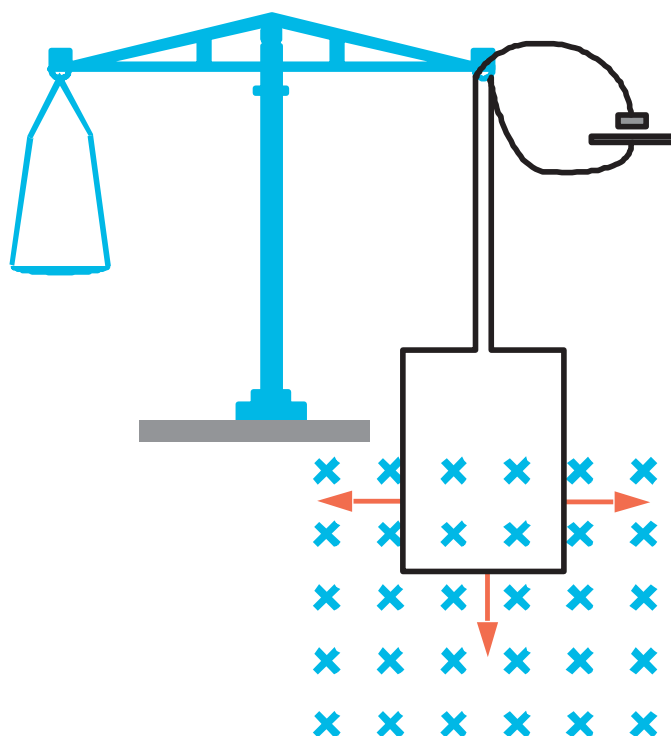
Το B ορίζεται από τη σχέση (4.18) στην περίπτωση που ο αγωγός είναι τοποθετημένος μέσα στο πεδίο έτσι ώστε να δέχεται τη μέγιστη δύναμη. Τότε $\eta\mu\phi = \eta\mu 90^\circ = 1$ και

$$B = \frac{F}{Il}$$

Μονάδα του B είναι το 1 T (Τέσλα) $1\text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-3

Στο σχήμα 4.25 φαίνεται ένας ζυγός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων. Ένας συρμάτινος βρόχος που διαρρέεται από γνωστό ρεύμα εμβαπτίζεται μερικώς μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στα τμήματα του βρόχου που βρίσκονται εντός του πεδίου. Οι δυνάμεις που ασκούνται στα κατακόρυφα τμήματα του βρόχου αλληλοεξουδετερώνονται, ενώ η δύναμη που ασκείται στο οριζόντιο τμήμα του μπορεί να μετρηθεί με το ζυγό. Αυτό δίνει τη δυνατότητα μέτρησης του μαγνητικού πεδίου. Έστω ότι το οριζόντιο τμήμα του αγωγού έχει μήκος 10 cm διαρρέεται από ρεύμα 2 A και η μαγνητική δύναμη που μετράμε με το ζυγό έχει τιμή 0,1 N. Πόσο είναι το μαγνητικό πεδίο;



Σχ. 4.25

Απάντηση:

Επειδή το οριζόντιο τμήμα του βρόχου είναι κάθετο στο B η δύναμη που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο και την οποία μετράμε με το ζυγό είναι

$$F = BIl$$

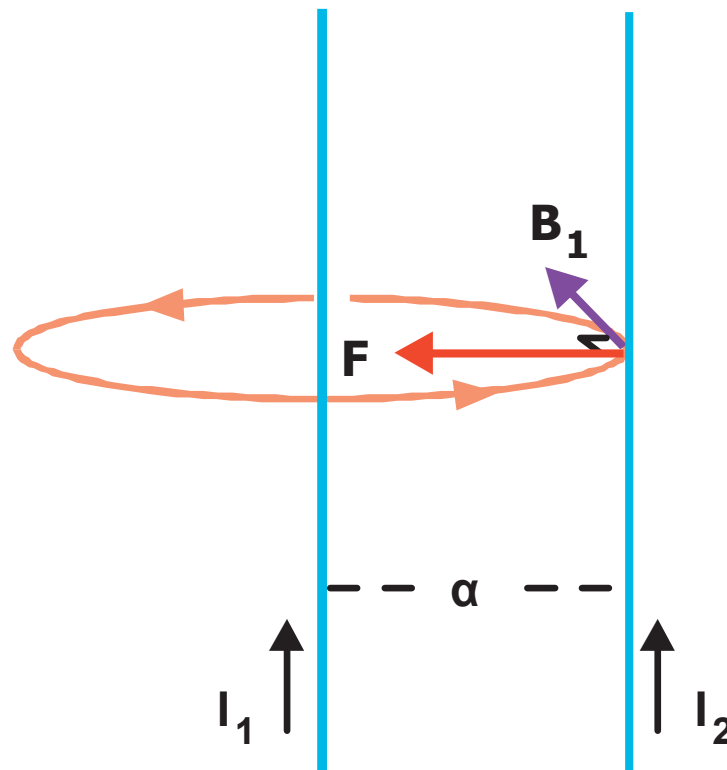
$$\text{επομένως } B = \frac{F}{Il} = \frac{0,1 \text{ N}}{2 \text{ A} \times 0,1 \text{ m}} = 0,5 \text{ T}$$

4-11 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΥΟ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο δέχεται δύναμη από αυτό. Γνωρίζουμε επίσης ότι ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί δικό του μαγνητικό πεδίο. Έτσι, αν τοποθετήσουμε κοντά δύο ρευματοφόρους αγωγούς, το μαγνητικό πεδίο του ενός θα ασκεί δύναμη στον άλλον.

Οι παράλληλοι αγωγοί του σχήματος 4.26 έχουν πολύ μεγάλο μήκος, διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα I_1 και I_2 και απέχουν μεταξύ τους απόσταση α . Ο αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα I_1 , δημιουργεί, στην περιοχή που βρίσκεται ο αγωγός I_2 , μαγνητικό πεδίο B_1 . Το B_1 είναι κάθετο στον αγωγό, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.27 και το μέτρο του είναι

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1}{\alpha} \quad (4.21)$$



Σχ. 4.26 Ο αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_1 , δημιουργεί μαγνητικό πεδίο που στα σημεία του δεύτερου αγωγού έχει ένταση B_1 . Το μαγνητικό πεδίο B_1 ασκεί στο δεύτερο αγωγό δύναμη Laplace F .

Σύμφωνα με το νόμο του Laplace, η μαγνητική δύναμη που δέχεται ένα τμήμα του δεύτερου αγωγού, μήκους l , επειδή βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο B_1 , είναι

$$F_2 = B_1 I_2 l$$

που, λόγω της (4.21), γίνεται

$$F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{\alpha} \quad (4.22)$$

Μπορούμε να εκφράσουμε το αποτέλεσμα αυτό και ως δύναμη ανά μονάδα μήκους

$$\frac{F_2}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{a}$$

Με τον κανόνα των τριών δακτύλων, βρίσκουμε ότι η δύναμη F_2 κατευθύνεται προς τον πρώτο αγωγό. Με ανάλογο τρόπο βρίσκουμε και τη δύναμη F_1 που ασκεί ο δεύτερος αγωγός σε τμήμα μήκους l του πρώτου. Η δύναμη αυτή είναι αντίθετη της F_2 . Όταν λοιπόν οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα έλκονται. Όταν τα ρεύματα είναι αντίρροπα οι αγωγοί απωθούνται. Επομένως

Παράλληλοι αγωγοί που διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα έλκονται, ενώ παράλληλοι αγωγοί που διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα απωθούνται. Το μέτρο της δύναμης με την οποία έλκονται ή απωθούνται δίνεται από τη σχέση (4.22)

Η δύναμη αυτή χρησιμοποιείται για να ορίσουμε τη μονάδα έντασης ηλεκτρικού ρεύματος το ampère, ως εξής:

1 A είναι το ρεύμα που όταν διαρρέει καθένα από δύο παράλληλους αγωγούς που βρίσκονται σε απόσταση 1 m μεταξύ τους, ο ένας αγωγός ασκεί σε κάθε μέτρο του άλλου δύναμη 2×10^{-7} N.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4-4

Τρεις αγωγοί πολύ μεγάλου μήκους είναι παράλληλοι, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα, ο πρώτος $I_1 = 8 \text{ A}$, ο δεύτερος I_2 και ο τρίτος $I_3 = 2 \text{ A}$, όπως στο σχήμα 4.27. Αν ο πρώτος και τρίτος αγωγός απέχουν μεταξύ τους απόσταση $d = 10 \text{ cm}$, να βρεθεί πού πρέπει να βρίσκεται ο δεύτερος αγωγός ώστε να ισορροπεί.

Απάντηση:

Έστω ότι για να ισορροπεί ο δεύτερος αγωγός πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση x από τον πρώτο. Ο πρώτος αγωγός ασκεί σε τμήμα του δεύτερου, μήκους l , ελκτική δύναμη

$$F_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{x}$$

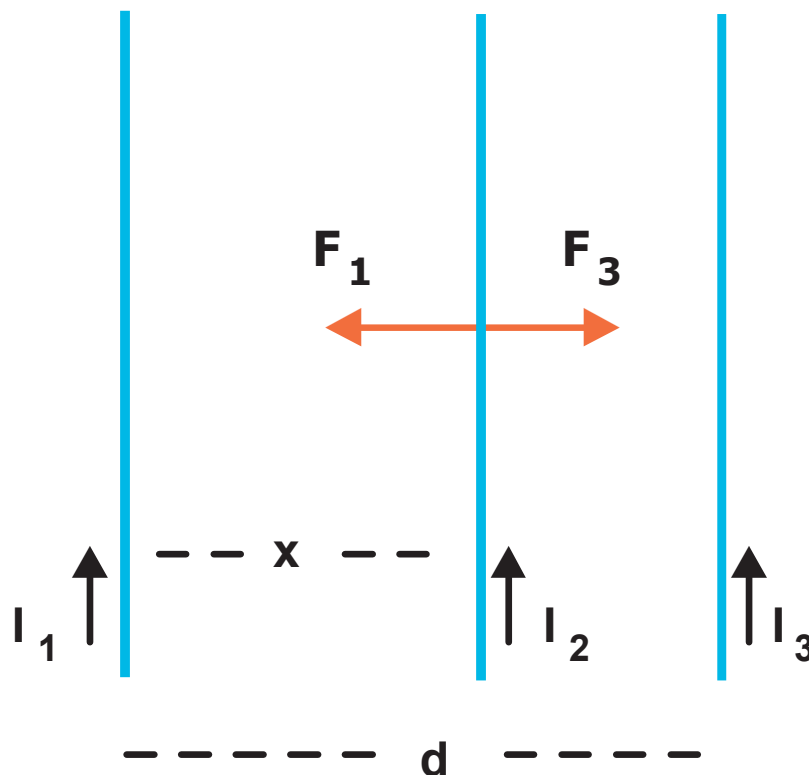
Ο τρίτος ασκεί στο ίδιο τμήμα του δεύτερου επίσης ελκτική δύναμη

$$F_3 = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2 I_3 l}{(d - x)}$$

Για να ισορροπεί ο αγωγός πρέπει $F_1 = F_3$ επομένως

$$\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{x} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_2 I_3 l}{(d - x)}$$

Από την τελευταία σχέση προκύπτει $\frac{I_1}{x} = \frac{I_3}{(d - x)}$ ή
 $4d = 5x$ οπότε $x = 8 \text{ cm}$



Σχ. 4.27

ΣΥΝΟΨΗ

Νόμος των Biot και Savart. Ένα πολύ μικρό τμήμα Δl αγωγού που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα I δημιουργεί σε ένα σημείο A που απέχει απόσταση r από αυτό μαγνητικό πεδίο ΔB , μέτρου

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta l}{r^2} \eta \mu \theta$$

όπου θ η γωνία ανάμεσα στο Δl και στο r . Το μαγνητικό πεδίο ΔB είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από τα Δl και r και η φορά του δίνεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Νόμος του Ampère. Το άθροισμα των γινομένων B μήκος οποιασδήποτε κλειστής διαδρομής είναι ίσο με το γινόμενο $\mu_0 I_{\text{εγκ}}$, όπου $I_{\text{εγκ}}$ το συνολικό ρεύμα που διέρχεται από την επιφάνεια που ορίζει η κλειστή διαδρομή.

$$\sum B \Delta l \text{ συν} \theta = \mu_0 I_{\text{εγκ}}$$

Νόμος του Gauss για το μαγνητισμό. Η μαγνητική ροή που διέρχεται από οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια είναι μηδέν.

$$\Phi_m = 0$$

Με άλλα λόγια δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα. Αν ένα φορτίο q κινείται με ταχύτητα u μέσα σε μαγνητικό πεδίο B , το μαγνητικό πεδίο τού ασκεί δύναμη.

$$F = B |q| u \eta \mu \phi,$$

Δι συνθ κατά όπου φ η γωνία που σχηματίζει η ταχύτητα με το $\mathbf{B}$. Η δύναμη αυτή έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τα $\mathbf{u}$ και $\mathbf{B}$ και φορά που δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Η δύναμη αυτή λέγεται δύναμη Lorentz. Επειδή η $\mathbf{F}$ είναι διαρκώς κάθετη στη μετατόπιση, το έργο που παράγει είναι πάντα μηδενικό, με αποτέλεσμα να μεταβάλλει την κατεύθυνση της ταχύτητας, όχι όμως και το μέτρο της.

Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου κάνει ομαλή κυκλική κίνηση. Η ακτίνα περιστροφής του είναι $R = \frac{mu}{B|q|}$ και η περίοδος $T = \frac{2\pi m}{B|q|}$

Όταν εισέρχεται με τυχαία γωνία σε ομογενές μαγνητικό πεδίο κάνει ελικοειδή κίνηση.

Ευθύγραμμος αγωγός μήκους l , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, δέχεται δύναμη

$$\mathbf{F} = BIl \sin\varphi$$

Η δύναμη αυτή ονομάζεται δύναμη Laplace, έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και τις δυναμικές γραμμές και φορά που δίνεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Όταν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου η δύναμη Laplace από τη σχέση $F = BIl$. Από τη σχέση αυτή ορίζεται το B . Μονάδα του B είναι το $1 \text{ T} = 1 \text{ N/Am}$.

Όταν δύο παράλληλοι ευθύγραμμοι αγωγοί απείρου μήκους διαρρέονται από ρεύμα, ο ένας αγωγός ασκεί στον άλλο δύναμη. Η δύναμη που δέχεται κάθε αγωγός ανά μονάδα μήκους του είναι

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{a}$$

Η δύναμη είναι ελκτική αν οι αγωγοί διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα και απωστική αν διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα.

Αν η ανά μονάδα μήκους δύναμη που ασκείται σε κάθε έναν από δύο παράλληλους ευθύγραμμους αγωγούς μεγάλου μήκους που διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα και βρίσκονται σε απόσταση 1 m μεταξύ τους, είναι 2×10^{-7} N/m, τότε, εξ ορισμού, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει κάθε αγωγό είναι **1 A.**

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

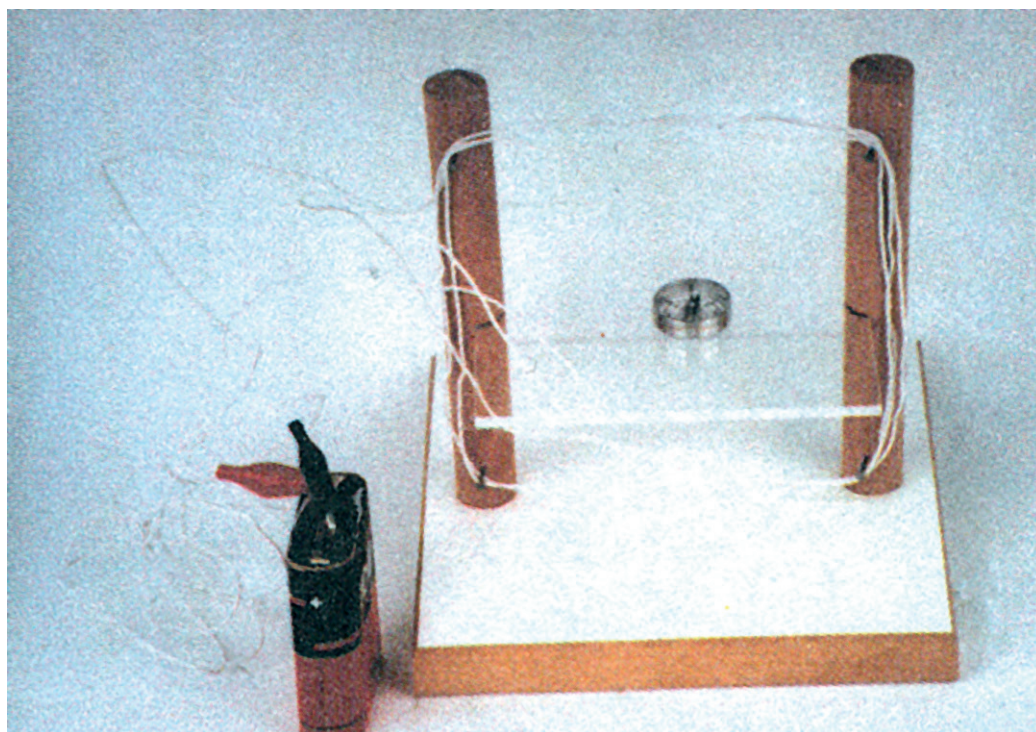
1. Το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο ενός πλαισίου

Χρησιμοποιήστε ένα λεπτό καλώδιο για να δημιουργήσετε ένα κατακόρυφο ορθογώνιο πλαίσιο, με μία ή περισσότερες σπείρες. Στο κέντρο του πλαισίου τοποθετήστε μια πυξίδα. Περιστρέψτε τη διάταξη ώστε η βελόνα της πυξίδας να είναι παράλληλη με το επίπεδο του πλαισίου.

Συνδέστε το σύρμα στους πόλους μιας μπαταρίας 4,5 V. Η βελόνα στρέφεται. Τυλίξτε ακόμα μία φορά το σύρμα ώστε να προσθέσετε μία σπείρα στο πλαίσιο. Τι παρατηρείτε για τη γωνία που στράφηκε τώρα η βελόνα;

Συνεχίστε να τυλίγετε σπείρες στο πλαίσιο.

Τι εμποδίζει τη βελόνα να τοποθετηθεί κάθετα στο επίπεδο του πλαισίου;

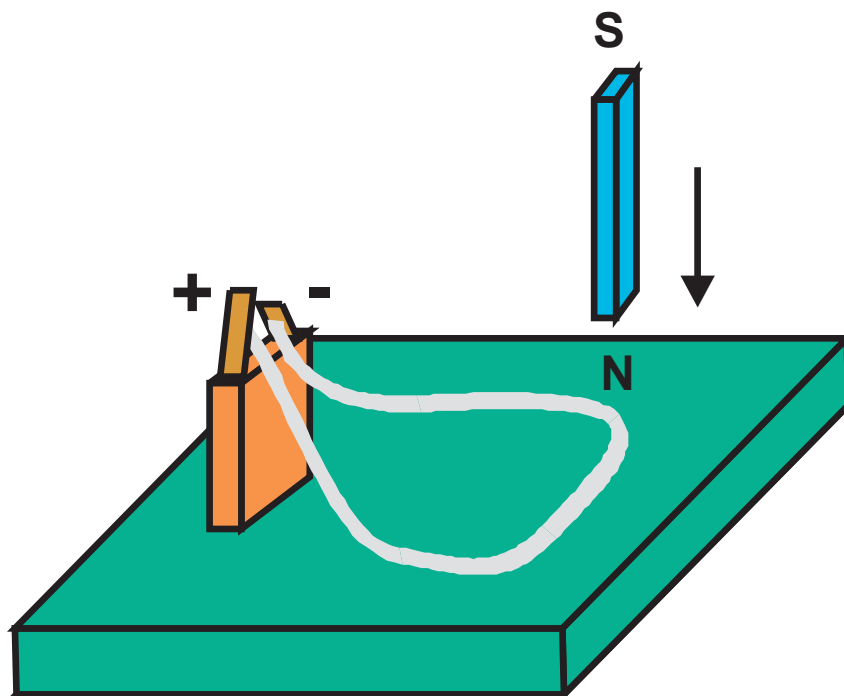


Εικ. 4.13

2. Ένας εύκολος τρόπος να παρατηρήσετε τη δύναμη Laplace

Κόψτε μια λεπτή λωρίδα αλουμινόχαρτο και συνδέστε τη στους πόλους μπαταρίας 4,5 V. Πλησιάστε το βόρειο πόλο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη, που τον κρατάτε κατακόρυφο. Θα δείτε ότι το αλουμινόχαρτο μετακινείται.

Πλησιάστε στο αλουμινόχαρτο το νότιο πόλο του μαγνήτη. Τι παρατηρείτε; Ελέγξτε αν η φορά της δύναμης συμφωνεί με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού.



Σχ. 4.28

3. Κατασκευάστε ένα πηνίο

Τυλίξτε γύρω από ένα χάρτινο κύλινδρο ένα μονωμένο χάλκινο σύρμα (από αυτό που χρησιμοποιούν για τις περιελίξεις των μοτέρ). Φροντίστε οι σπείρες να

εφάπτονται ώστε να είναι παράλληλες μεταξύ τους. Φροντίστε επίσης να στηρίξετε τις σπείρες (π.χ. με κόλλα) για να μην φεύγουν από τον κύλινδρο. Ξύστε τις δύο άκρες του σύρματος ώστε να είναι αγωγίμες. Το πηνίο είναι έτοιμο.

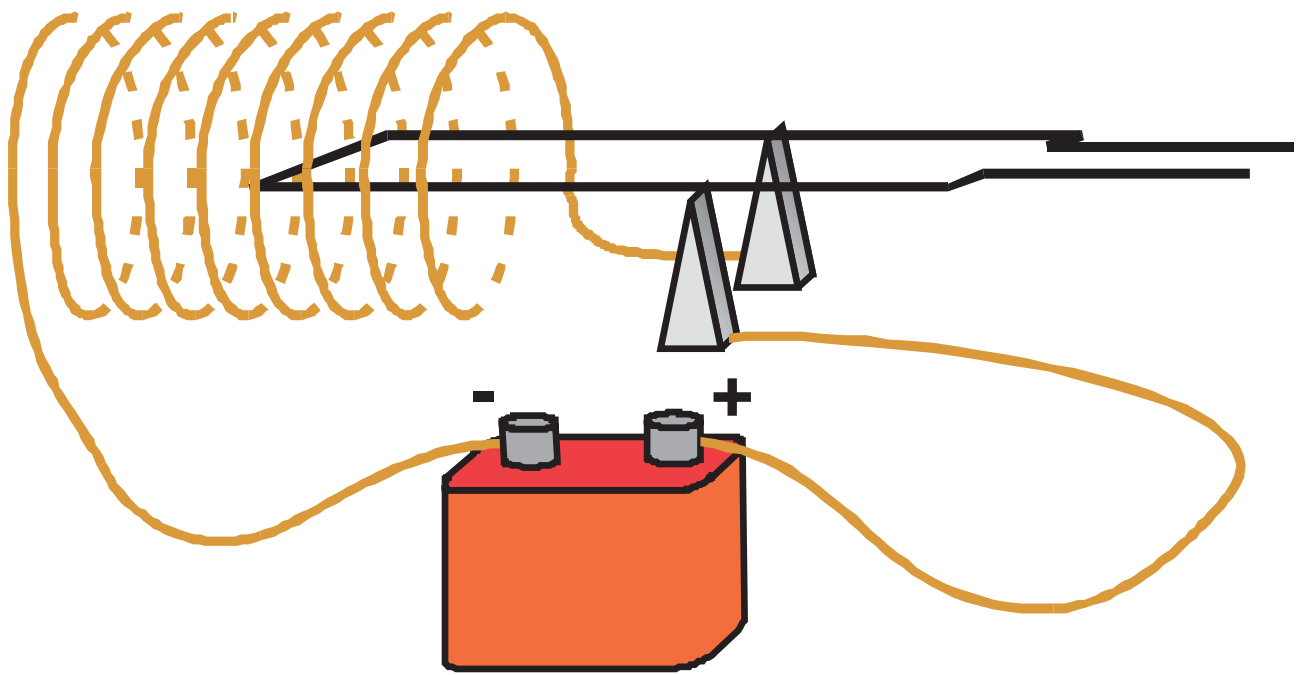
4. Κατασκευάστε ένα μαγνητικό ζυγό

Θα χρησιμοποιήσετε ένα συρμάτινο πλαίσιο από λεπτό σύρμα χωρίς μόνωση (σχ. 4.29). Το πλαίσιο είναι ανοιχτό στο ένα μέρος του. Η διάσταση d να επιλεγεί κατάλληλα ώστε να χωράει στο πηνίο που κατασκευάσατε. Η άλλη πλευρά του να έχει μήκος $l = 20\text{ cm}$.



Σχ. 4.29

Στηρίξτε το πλαίσιο σε δύο λεπίδες χαρτοκόπτη που είναι τοποθετημένες κατακόρυφα. Βρείτε τη θέση στην οποία το πλαίσιο ισορροπεί οριζόντια και σημειώστε τη. Τοποθετήστε το πηνίο έτσι ώστε η πλευρά d του πλαισίου να βρίσκεται μέσα στο πηνίο και ο άξονας του πηνίου να είναι παράλληλος με τις άλλες πλευρές του πλαισίου. Συνδέστε κατάλληλα το πλαίσιο και το πηνίο με τους πόλους μπαταρίας 4.5 V έτσι ώστε και τα δύο να τροφοδοτούνται από το ίδιο ρεύμα (σχ. 4.30). Προσπαθήστε να ισορροπήσει το πλαίσιο βάζοντας στην ελεύθερη άκρη του μικρά κομματάκια από χαρτί. [Δείτε και το αντίστοιχο πείραμα στον οδηγό του εργαστηρίου]



Σχ. 4.30

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Ο νόμος των Biot και Savart

4.1 Συμπληρώστε τα κενά:

Ο νόμος των Biot και Savart δίνει το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ένα ρευματοφόρου αγωγού. Για να υπολογίσουμε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ολόκληρος ο αγωγός σε κάποιο σημείο, πρέπει να χωρίσουμε τον αγωγό σε πολύ μικρά τμήματα και στη συνέχεια να τη συνεισφορά όλων των τμημάτων στα οποία χωρίσαμε τον αγωγό.

4.2 Το μαγνητικό πεδίο ΔB που δημιουργεί πολύ μικρό τμήμα Δl ρευματοφόρου αγωγού σε κάποιο σημείο, το οποίο απέχει απόσταση r από το τμήμα Δl

- α) έχει τη διεύθυνση του r .
 - β) έχει τη διεύθυνση του αγωγού.
 - γ) έχει μέτρο αντίστροφα ανάλογο του r .
 - δ) έχει μέτρο αντίστροφα ανάλογο του r^2 .
- Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

4.3 Ο νόμος των Biot και Savart ισχύει:

- α) Μόνο για ευθύγραμμους αγωγούς.
 - β) Μόνο για αγωγούς που έχουν γεωμετρικό σχήμα.
 - γ) Μόνο για αγωγούς που το μήκος τους θεωρείται άπειρο.
 - δ) Για κάθε αγωγό.
- Σημειώστε τη σωστή απάντηση.

4.4 Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο ενός

ημικυκλικού αγωγού που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I .

Ο νόμος του Ampère

4.5 Συμπληρώστε τα κενά:

Σύμφωνα με το νόμο του Ampère το άθροισμα των γινομένων $B \Delta l$ συνθ κατά μήκος μιας κλειστής διαδρομής είναι ίσο με Ο νόμος του Ampère δίνει τη δυνατότητα να υπολογίζουμε εύκολα το μαγνητικό πεδίο σε διατάξεις που παρουσιάζουν

4.6 Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α) Ο νόμος του Ampère ισχύει μόνο σε περιπτώσεις συμμετρικών διατάξεων.
- β) Για την εφαρμογή του νόμου του Ampère λαμβάνουμε υπόψη μόνο το πεδίο που οφείλεται σε ρεύματα που περικλείονται στο βρόχο.
- γ) Ο νόμος του Ampère ισχύει μόνο αν τα ρεύματα που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερά.
- δ) Ο νόμος του Ampère εφαρμόζεται κατά μήκος κλειστής διαδρομής οποιουδήποτε σχήματος.

4.7 Κατάλληλη κλειστή διαδρομή για την εφαρμογή του νόμου του Ampère είναι,

- A) σε ευθύγραμμο αγωγό απείρου μήκους,
 - α) μια κυκλική διαδρομή κάθετη στον αγωγό.
 - β) μια κυκλική διαδρομή παράλληλη στον αγωγό.
 - γ) μια διαδρομή σχήματος ορθογωνίου με το

επίπεδό του κάθετο στον αγωγό.

δ) μια διαδρομή σχήματος ορθογωνίου με το επίπεδό του παράλληλο στον αγωγό.

B) σε σωληνοειδές,

α) μια κυκλική διαδρομή κάθετη στον άξονα του σωληνοειδούς.

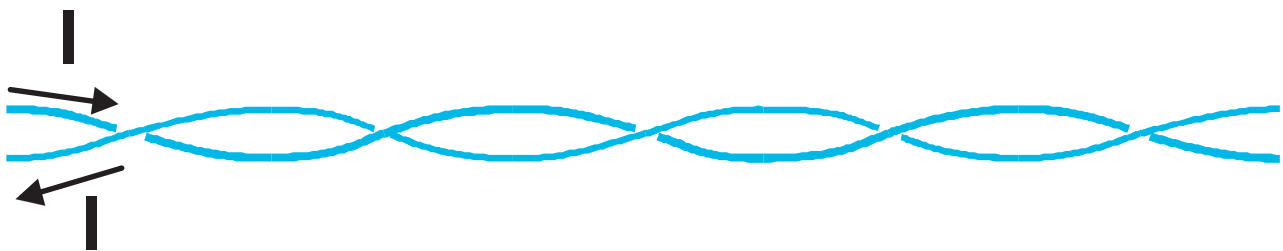
β) μια κυκλική διαδρομή σε επίπεδο παράλληλο στον άξονα του σωληνοειδούς.

γ) μια διαδρομή σχήματος ορθογωνίου με το επίπεδό του κάθετο στον άξονα του σωληνοειδούς.

δ) μια διαδρομή σχήματος ορθογωνίου με το επίπεδό του παράλληλο στον άξονα του σωληνοειδούς.

Σημειώστε τις σωστές απαντήσεις.

4.8 Δύο μονωμένοι αγωγοί τυλίγονται όπως στο σχήμα 4.31. Οι αγωγοί διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα της ίδιας έντασης. Εξηγήστε γιατί ένα τέτοιο σύστημα δε δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο.



Σχ. 4.31

4.9 Να αντιστοιχίσετε τα στοιχεία της αριστερής στήλης στα στοιχεία της δεξιάς.

1. Ευθύγραμμος αγωγός

A. $\mu_0 I \frac{N}{l}$

2. Κυκλικός αγωγός

B. $\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}$

3. Σωληνοειδές

Γ. $\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi I}{r}$

Δ. $\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{2r}$

4.10 Το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού πολύ μεγάλου μήκους παριστάνεται με δυναμικές γραμμές που

α) είναι παράλληλες και ισαπέχουσες.

β) έχουν την κατεύθυνση του αγωγού.

γ) είναι ομόκεντροι κύκλοι παράλληλοι στον αγωγό.

δ) είναι ομόκεντροι κύκλοι κάθετοι στον αγωγό με κέντρο τον αγωγό.

Ποια είναι η σωστή πρόταση;

4.11 Το μέτρο του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό σωληνοειδούς που διαρρέεται από ρεύμα είναι:

α) ανάλογο με το μήκος του σωληνοειδούς.

β) ανάλογο με την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.

γ) αντίστροφα ανάλογο του αριθμού των σπειρών του.

δ) Αντίστροφα ανάλογο της ακτίνας των σπειρών του.

Σημειώστε τη σωστή απάντηση.

4.12 Κύβος ακμής a περικλείει ένα ραβδόμορφο μαγνήτη. Να υπολογιστεί η ολική μαγνητική ροή που διέρχεται από την επιφάνεια του κύβου. Πόση θα είναι η μαγνητική ροή αν ο μαγνήτης τοποθετηθεί έξω από τον κύβο;

4.13 Πώς προκύπτει, από το νόμο του Gauss για το μαγνητισμό, το συμπέρασμα ότι αποκλείεται η ύπαρξη μαγνητικών μονοπόλων;

Δύναμη σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο.

4.14 Μπορεί ένα ακίνητο πρωτόνιο να τεθεί σε κίνηση
α) από ένα μαγνητικό πεδίο;
β) από ένα ηλεκτρικό πεδίο;
Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

4.15 Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο έχει
α) την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών αν πρόκειται για θετικό φορτίο και αντίθετη αν πρόκειται για αρνητικό.
β) τη διεύθυνση της ταχύτητας.
γ) διεύθυνση που σχηματίζει με τις δυναμικές γραμμές γωνία φ με $\eta\mu\varphi = \frac{F}{B|q|u}$
δ) διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από το B και την ταχύτητα.
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

4.16 Η δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο, εξαρτάται από:
α) το φορτίο του σωματιδίου.

β) τη μάζα του.

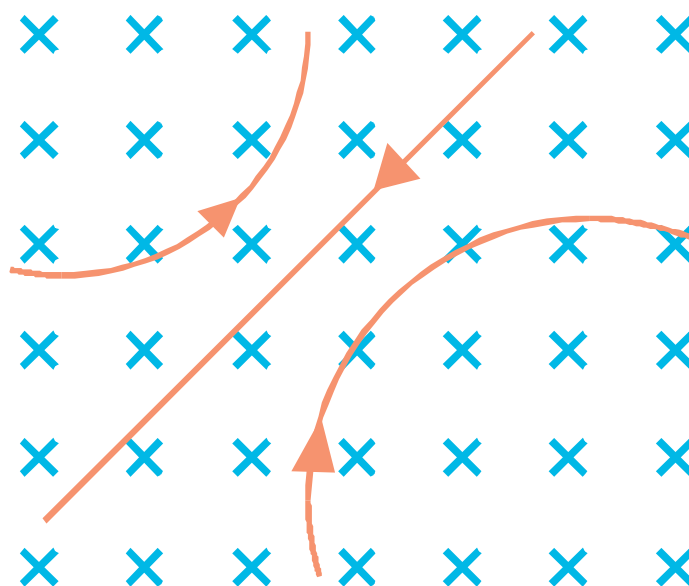
γ) τη διεύθυνση της ταχύτητάς του.

δ) την τιμή του πηλίκου q/m .

Επιλέξτε την ή τις σωστές απαντήσεις.

4.17 Ένα ηλεκτρόνιο διέρχεται από κάποιο χώρο χωρίς να εκτραπεί από την πορεία του. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο στο χώρο αυτό;

4.18 Στο σχ. 4.32 βλέπουμε τις τροχιές τριών σωματιδίων μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Τι συμπέρασμα βγάζετε για το είδος του φορτίου κάθε σωματιδίου;



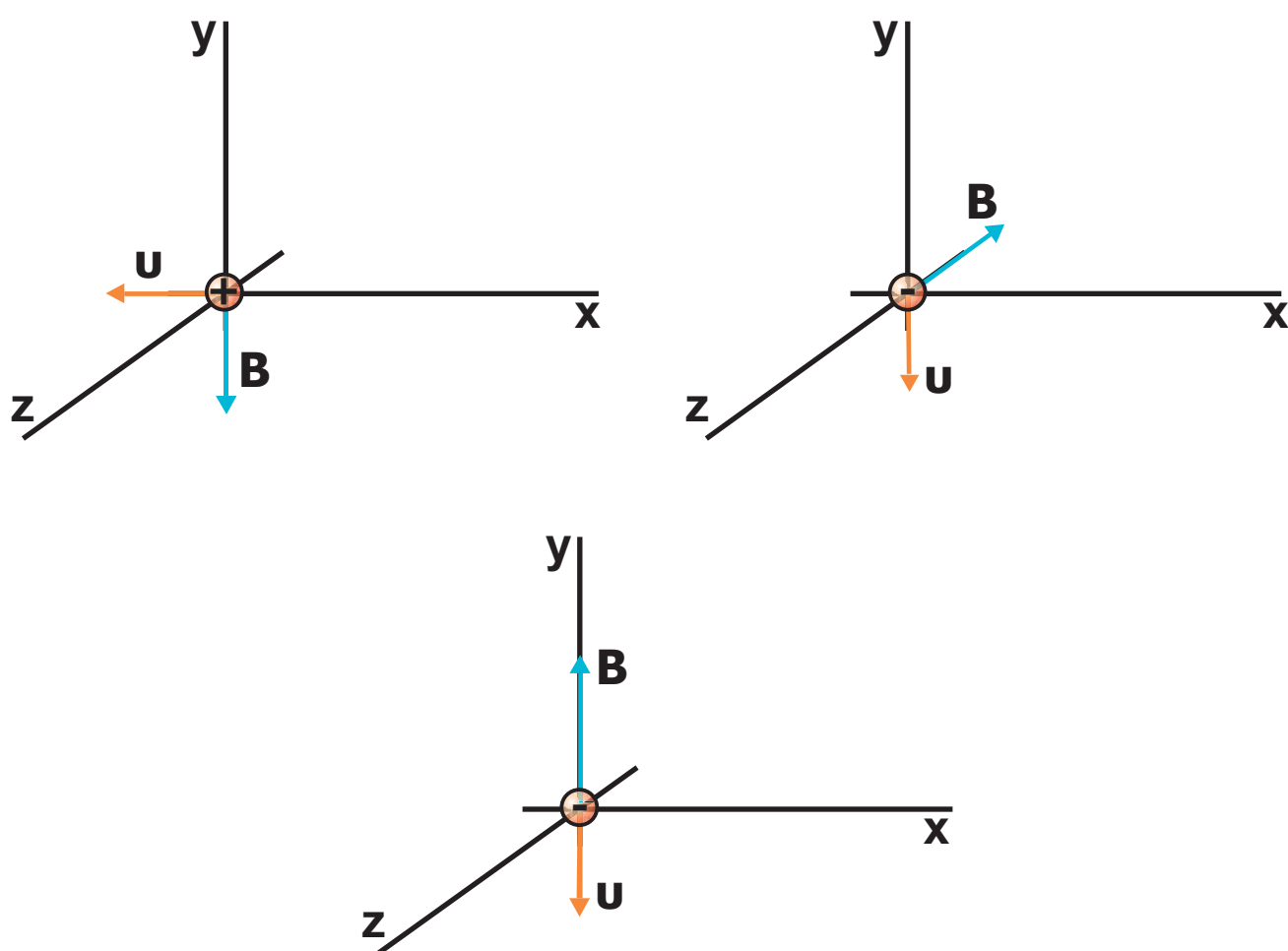
Σχ. 4.32

4.19 Ένα ηλεκτρόνιο εισέρχεται με ταχύτητα u σε ένα σωληνοειδές που διαρρέεται από ρεύμα. Να περιγραφεί η κίνηση του ηλεκτρονίου, όσο χρόνο παραμένει μέσα στο σωληνοειδές, α) αν εισέρχεται παράλληλα με τον άξονα του σωληνοειδούς, β) αν εισέρχεται κάθετα στον άξονα του σωληνοειδούς.

4.20 Η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας (φορτισμένα σωματίδια προερχόμενα από το Διάστημα που κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες) στην Αλάσκα είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι στη χώρα μας. Πού νομίζετε ότι οφείλεται αυτό;

4.21 Γιατί χαλάει η εικόνα της τηλεόρασης εάν κοντά της τοποθετήσουμε ένα μαγνήτη;

4.22 Στο σχήμα 4.33 φαίνονται τρεις περιπτώσεις στις οποίες φορτισμένο σωματίδιο κινείται με ταχύτητα u μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B . Ποια είναι η κατεύθυνση της δύναμης Lorentz που θα δεχτεί το σωματίδιο σε κάθε περίπτωση;



Σχ. 4.33

4.23 Δύο ηλεκτρόνια κινούνται κυκλικά, στο ίδιο μαγνητικό πεδίο, με ταχύτητες u_1 και u_2 για τις οποίες ισχύει $u_1 > u_2$. Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι ορθές;

A. Για τις ακτίνες περιστροφής τους ισχύει

α) $R_1 = R_2$ β) $R_1 > R_2$ γ) $R_1 < R_2$.

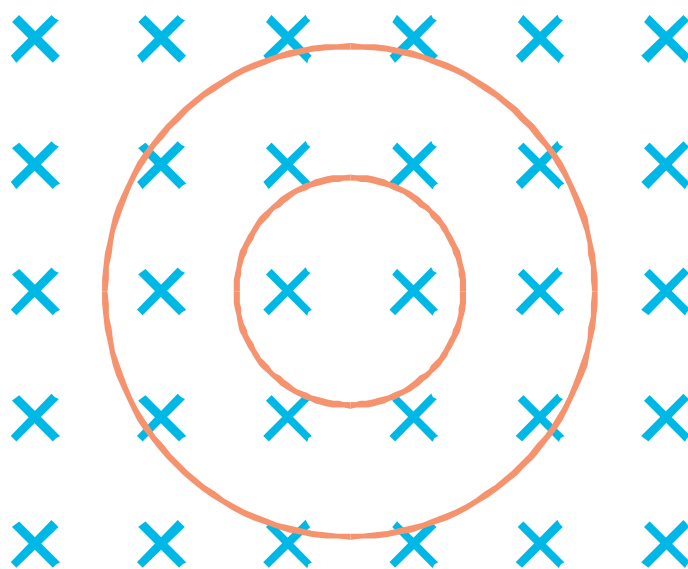
B. Για τις συχνότητες περιστροφής ισχύει

α) $f_1 = f_2$ β) $f_1 > f_2$ γ) $f_1 < f_2$.

4.24 Στο σχήμα 4.34 φαίνονται -χωρίς κλίμακα- οι τροχιές ενός πρωτονίου και ενός ηλεκτρονίου που κινούνται με ταχύτητα ίδιου μέτρου μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B .

α) Ποιο από τα δύο σωματίδια αντιστοιχεί στην τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας;

β) Ποια είναι η φορά της κίνησης κάθε σωματιδίου;



Σχ. 4.34

4.25 Φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο κάθετα στις δυναμικές γραμμές του.

Ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές;

- α) Το μαγνητικό πεδίο δε μεταβάλλει την ορμή του.
- β) Το μαγνητικό πεδίο δεν επιταχύνει το σωματίδιο.
- γ) Το μαγνητικό πεδίο δε μεταβάλλει την κινητική ενέργεια του σωματιδίου.
- δ) Η δύναμη του μαγνητικού πεδίου δεν παράγει έργο.

4.26 Ένα φορτισμένο σωματίδιο εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα u_0 κάθετη στις δυναμικές του γραμμές και αφού διαγράψει ημικύκλιο, όπως δείχνει το σχ. 4.35, εξέρχεται από αυτό σε χρόνο t_1 .

A. Τι είδους φορτίο έχει το σωματίδιο;

B. Ποια σχέση συνδέει την ταχύτητα u_1 με την οποία βγαίνει από το πεδίο με την ταχύτητα u_0 ;

Γ. Ένα δεύτερο όμοιο σωματίδιο μπαίνει στο μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα $2u_0$.

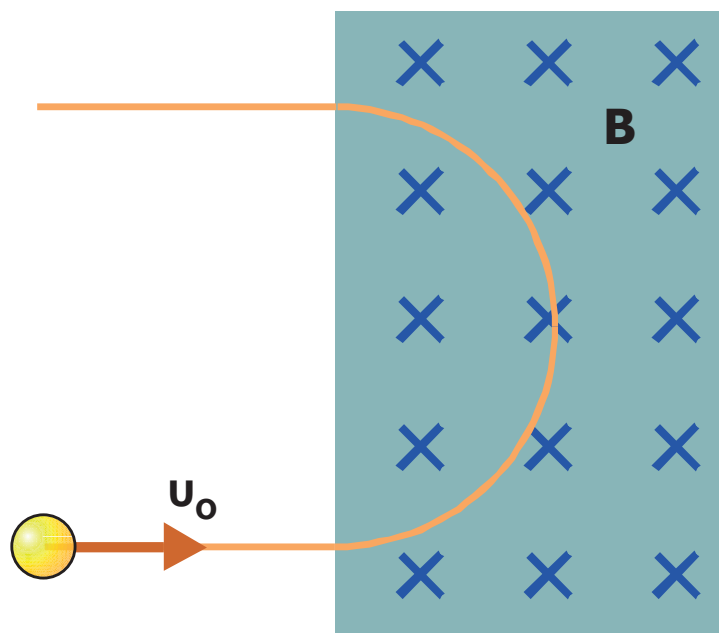
i. Για το χρόνο t_2 παραμονής του δεύτερου σωματιδίου στο πεδίο ισχύει α)

$t_1 = t_2$; β) $t_1 > t_2$; γ) $t_1 < t_2$;

ii. Για την ακτίνα της τροχιάς του δευτέρου σωματιδίου R_2 ισχύει α) $R_1 = R_2$;

β) $R_1 > R_2$; γ) $R_1 < R_2$;

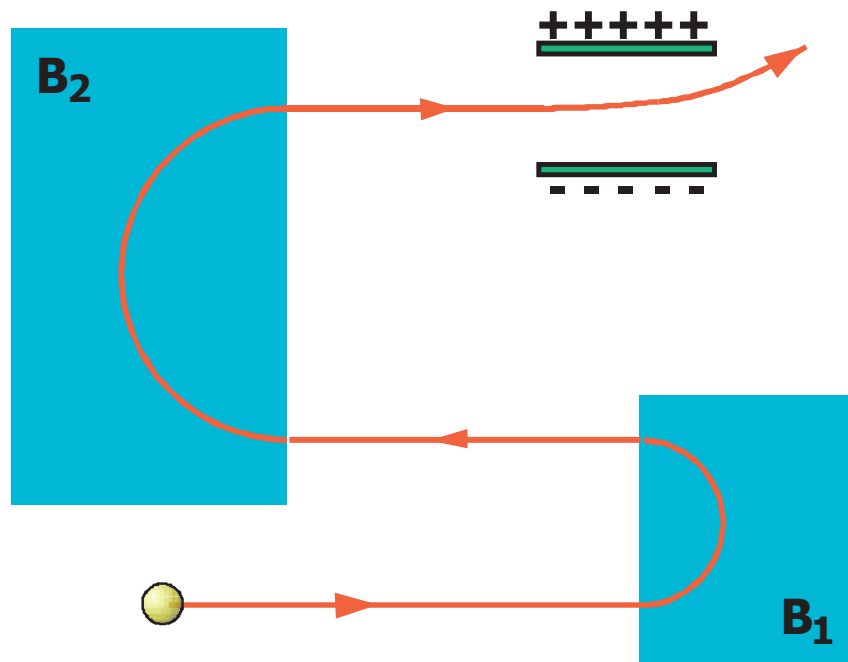
Σημειώστε τις σωστές απαντήσεις.



Σχ. 4.35

4.27 Στο σχήμα 4.36 η κόκκινη γραμμή δείχνει την τροχιά ενός φορτισμένου σωματιδίου. Το σωματίδιο κατά την κίνησή του περνάει από δύο μαγνητικά πεδία B_1 και B_2 (είναι οι γαλάζιες περιοχές του σχήματος) όπου διαγράφει ημικυκλικές τροχιές. Στη συνέχεια εισέρχεται στο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, που δημιουργείται στο εσωτερικό φορτισμένου πυκνωτή.

- α) Τι είδους φορτίο φέρει το σωματίδιο;
- β) Ποιες είναι οι κατευθύνσεις των δύο μαγνητικών πεδίων;
- γ) Ποιο μαγνητικό πεδίο είναι πιο ισχυρό;
- δ) Σε ποιο από τα δύο μαγνητικά πεδία το σωματίδιο παραμένει περισσότερο χρόνο;



Σχ. 4.36

- 4.28 Τι κίνηση κάνει ένα φορτισμένο σωματίδιο που εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με τυχαία γωνία ως προς τις δυναμικές γραμμές του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 4.29 Συμπληρώστε τα κενά.
Ο φασματογράφος μάζας είναι μια διάταξη που μετράει το πηλίκο προς ενός ιόντος. Χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό
- 4.30 Να περιγραφούν τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας φασματογράφος μάζας και να εξηγηθεί η λειτουργία τους.
- 4.31 Με ποια διάταξη μπορούμε από μια δέσμη φορτισμένων σωματιδίων, με διαφορετικές ταχύτητες να πάρουμε δέσμη στην οποία όλα τα σωματίδια θα έχουν την ίδια ταχύτητα; Περιγράψτε τη διάταξη και τη λειτουργία της.

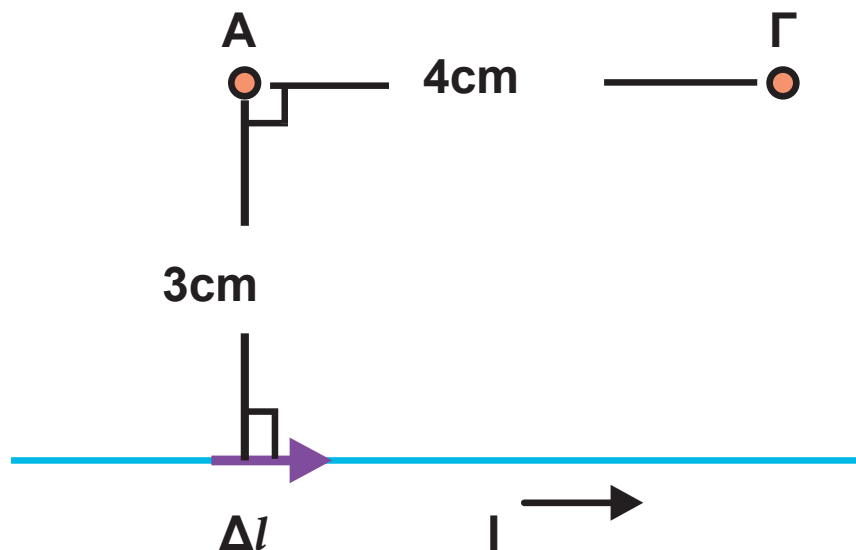
Δύναμη Laplace - μαγνητική δύναμη ανάμεσα σε παράλληλους αγωγούς

- 4.32 Περιγράψτε τρεις τρόπους με τους οποίους μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη μαγνητικού πεδίου.
- 4.33 Ευθύγραμμος αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Ποιος πρέπει να είναι ο προσανατολισμός του αγωγού ώστε η δύναμη που δέχεται από το μαγνητικό πεδίο να είναι η μέγιστη δυνατή;
- 4.34 Συμπληρώστε τα κενά:
Ευθύγραμμος αγωγός, που διαρρέεται από ρεύμα, βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο. Η δύναμη που δέχεται ο αγωγός είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από και η φορά της δίνεται από
- 4.35 Συμπληρώστε τις επόμενες προτάσεις:
Δύο παράλληλοι αγωγοί πολύ μεγάλου μήκους που διαρρέονται από ρεύματα έλκονται, ενώ αν διαρρέονται από ρεύματα Η δύναμη που ασκεί ο ένας αγωγός σε μήκος l του άλλου είναι ανάλογη με το γινόμενο και με το μήκος l και αντίστροφα ανάλογη

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Νόμος των Biot και Savart

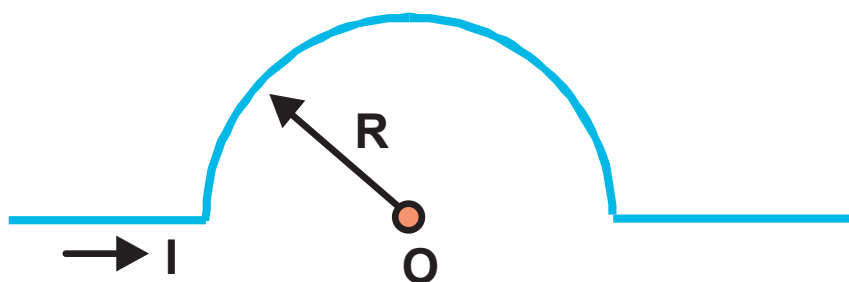
- 4.36 Ο ευθύγραμμος αγωγός του σχήματος 4.37 διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 10 \text{ A}$. Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο B που δημιουργεί τμήμα Δl , του αγωγού μήκους $\Delta l = 0,2 \text{ cm}$ (το Δl να θεωρηθεί στοιχειώδες) στα σημεία A και Γ. Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: $0,22 \times 10^{-5} \text{ T}$, $0,048 \times 10^{-5} \text{ T}$]



Σχ. 4.37

- 4.37 Ο αγωγός του σχήματος 4.38 αποτελείται από δύο ευθύγραμμα τμήματα μεγάλου μήκους και ένα ημικυκλικό, ακτίνας R . Να υπολογιστεί το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο αγωγός στο σημείο O, κέντρο του ημικυκλίου, όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης I .

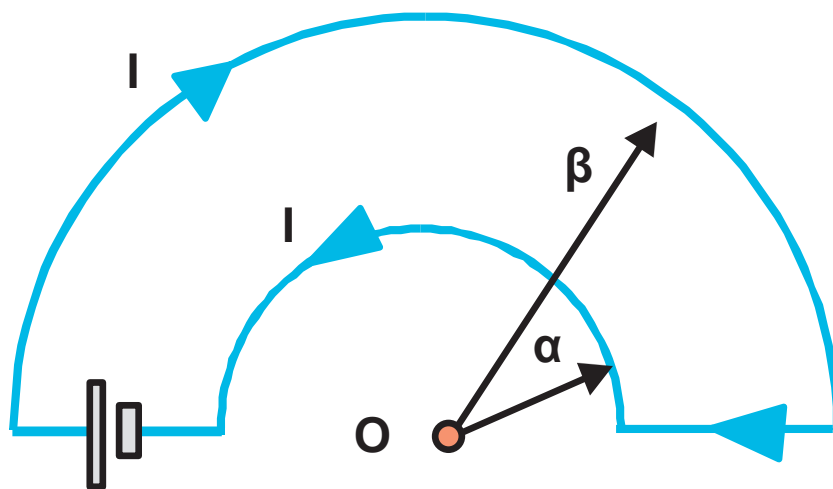
[Απ: $\frac{\mu_0 I}{4R}$]



Σχ. 4.38

4.38 Ο αγωγός του σχήματος 4.39 διαρρέεται από ρεύμα έντασης I και αποτελείται από δύο ομόκεντρα ημικυκλικά τμήματα, ακτίνων α και β , που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με δύο ακτινικά ευθύγραμμα τμήματα. Να υπολογιστεί το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο των ημικυκλικών τμημάτων.

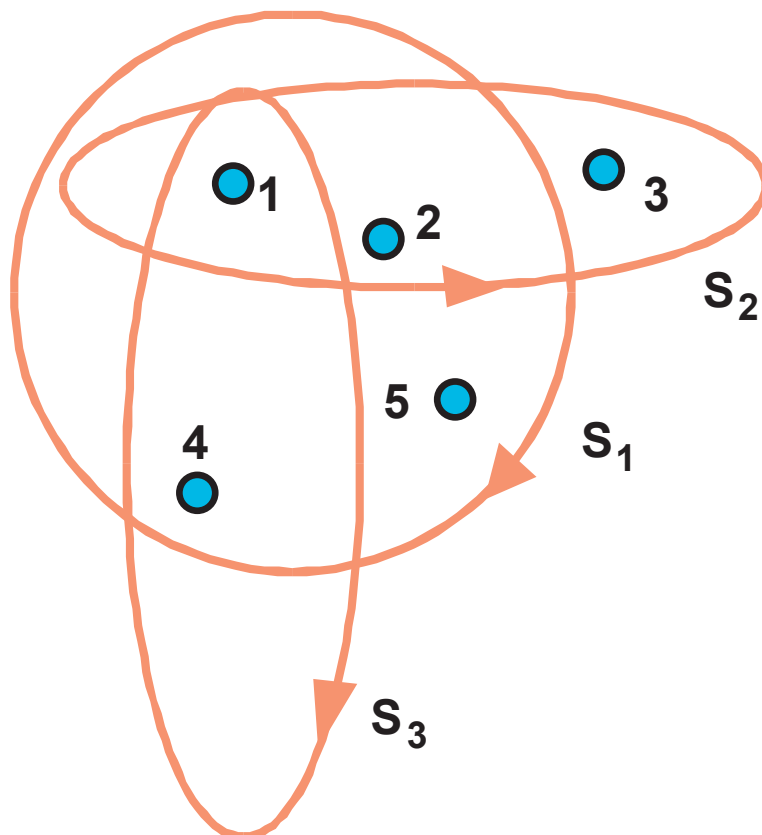
[Απ: $\frac{\mu_0 I (\beta - \alpha)}{4\alpha\beta}$]



Σχ. 4.39

Νόμος Ampère - μαγνητική ροή - νόμος του Gauss στο μαγνητισμό

- 4.39 Πέντε σύρματα που διαρρέονται το καθένα από ρεύμα έντασης $I = 10 \text{ A}$ κόβουν κάθετα τη σελίδα στα σημεία που φαίνονται στο σχήμα 4.40. Στα σύρματα με περιττό αριθμό τα ρεύματα έχουν φορά προς τον αναγνώστη ενώ στα σύρματα με άρτιο αριθμό, η φορά του ρεύματος είναι από τον αναγνώστη προς τη σελίδα. Υπολογίστε το άθροισμα των γινομένων $B \, dl$ συνθ πάνω σε κάθε κλειστή διαδρομή S_1 , S_2 , S_3 που φαίνονται στο σχήμα, με τη φορά που δείχνει το βέλος.
- Δίνεται: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: $0,4\pi \times 10^{-6} \text{ Tm}$, 0]



Σχ. 4.40

- 4.40 Πηνίο αποτελείται από $N = 400$ σπείρες και έχει μήκος $l = 10 \text{ cm}$. Η κάθε σπείρα έχει διάμετρο $A = 2 \text{ cm}$. Το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 10 \text{ A}$. Να υπολογιστεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από κάθε σπείρα του πηνίου. Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: $16\pi^2 \times 10^{-7} \text{ Wb}$]

Δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο

- 4.41 Ηλεκτρόνιο βάλλεται με ταχύτητα $u = 10^4 \text{ m/s}$, κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου έντασης $B = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$. Να υπολογιστεί η ακτίνα και η περίοδος περιστροφής του ηλεκτρονίου. Δίνονται το στοιχειώδες φορτίο $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ και η μάζα του ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.
[Απ: $2,84 \times 10^{-6} \text{ m}$,
 $17,86 \times 10^{-10} \text{ s}$]

- 4.42 Φορτισμένο σωματίδιο διαγράφει κυκλική τροχιά ακτίνας $R = 20 \text{ cm}$, μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με $B = 2 \text{ T}$. Αν το φορτίο του σωματιδίου είναι $2 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ να υπολογιστεί το μέτρο της ορμής του.
[Απ: $1,28 \times 10^{-19} \text{ kg m/s}$]

- 4.43 Τι τιμή πρέπει να έχει ένα μαγνητικό πεδίο στο διάστημα, ώστε να αναγκάσει ένα πρωτόνιο που κινείται με ταχύτητα $u = 10^7 \text{ m/s}$ κάθετα στις δυναμικές του γραμμές, να διαγράψει κυκλική τροχιά

ακτίνας ίσης με την ακτίνα της Γης. Δίνονται $m_p = 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ και $R_\Gamma = 6400 \text{ km}$.
[Απ: $15,6 \times 10^{-9} \text{ T}$]

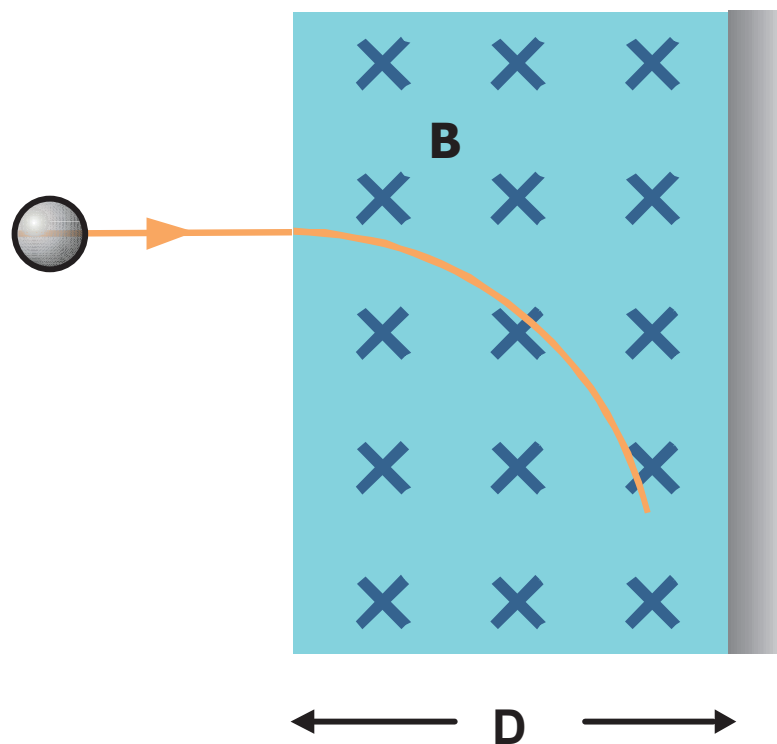
4.44 Ένα πρωτόνιο και ένα σωματίο α (πυρήνας του ηλίου ${}^4_2\text{He}$) έχουν ίσες κινητικές ενέργειες και μπαίνουν σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Αν η ακτίνα περιστροφής του πρωτονίου είναι $R_p = 10 \text{ cm}$ να υπολογιστεί η ακτίνα περιστροφής του σωματίου α . Δίνεται ότι η μάζα του σωματίου α είναι τετραπλάσια της μάζας του πρωτονίου και ότι το φορτίο του α διπλάσιο του φορτίου του πρωτονίου.
[Απ: $R_\alpha = 10 \text{ cm}$]

4.45 Ηλεκτρόνιο που κινείται με ταχύτητα $u = 2 \times 10^2 \text{ m/s}$ μπαίνει σε χώρο όπου συνυπάρχουν ομογενές ηλεκτρικό και ομογενές μαγνητικό πεδίο με τις δυναμικές τους γραμμές κάθετες μεταξύ τους. Το ηλεκτρόνιο μπαίνει κάθετα στις δυναμικές γραμμές των δυο πεδίων και κινείται ευθύγραμμα και ομαλά. Αν το μαγνητικό πεδίο είναι $B = 0,02 \text{ T}$ να υπολογιστεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.
[Απ: 4 V / m]

4.46 Μια δέσμη από ηλεκτρόνια με κινητική ενέργεια K κατευθύνεται προς μεταλλική επιφάνεια που είναι τοποθετημένη κάθετα στη διεύθυνση της δέσμης. Μπροστά από τη μεταλλική επιφάνεια υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο με τις δυναμικές του γραμμές παράλληλες στην επιφάνεια. Το εύρος του μαγνητικού πεδίου είναι D (σχ. 4.41). Ποια εί-

ναι η ελάχιστη τιμή B του μαγνητικού πεδίου ώστε τα ηλεκτρόνια να μην πέφτουν πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Δίνονται: η μάζα του ηλεκτρονίου m_e και το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο e .

$$[\text{Απ: } B = \sqrt{\frac{2m_e K}{e^2 D^2}}]$$



Σχ. 4.41

- 4.47 Ένα ηλεκτρόνιο το οποίο έχει κινητική ενέργεια $K = 20 \text{ eV}$ ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$) μπαίνει σε περιοχή όπου υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 5 \times 10^{-4} \text{ T}$. Αν η ταχύτητα του ηλεκτρονίου σχηματίζει γωνία $\varphi = 60^\circ$ με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου, βρείτε το βήμα της έλικας που θα διαγράψει. Δίνονται $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ και $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
[Απ: 9,4 cm]

- 4.48 Ένα πρωτόνιο επιταχύνεται σε τάση $V = 2000 \text{ V}$ και στη συνέχεια εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο κάθετα στις δυναμικές γραμμές. Να υπολογιστεί η ακτίνα της τροχιάς που θα διαγράψει μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Δίνονται το μαγνητικό πεδίο $B = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$, το στοιχειώδες φορτίο $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ και η μάζα του πρωτονίου $m_p = 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
[Απ: 0,316 m]

Δύναμη Laplace

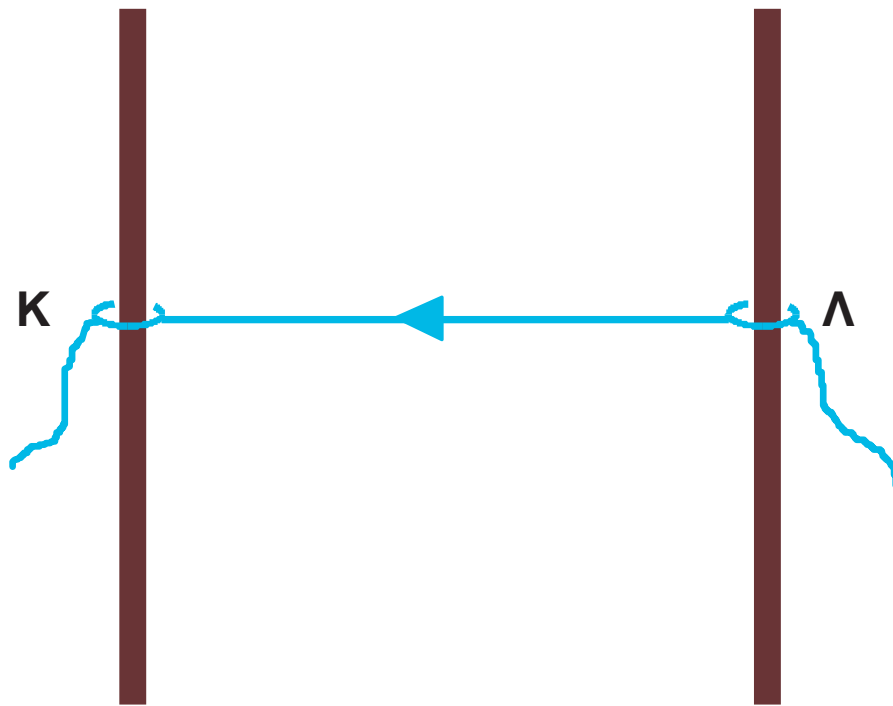
- 4.49 Αγωγός μήκους $l = 40 \text{ cm}$ που διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 8 \text{ A}$, βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ισχυρού ηλεκτρομαγνήτη που δημιουργεί μαγνητικό πεδίο $B = 1,2 \text{ T}$. Να υπολογιστεί η δύναμη που δέχεται ο αγωγός,
α) αν είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, και
β) αν σχηματίζει γωνία 30° , με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου.
[Απ: α) 3,84 N , β) 1,92 N]
- 4.50 Ο αγωγός ΚΛ (σχ. 4.42) έχει μάζα 40 g και μήκος $l = 0,5 \text{ m}$, είναι οριζόντιος και μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές πάνω σε δύο κατακόρυφους οδηγούς από μονωτικό υλικό. Τα άκρα Κ και Λ του αγωγού συνδέονται με πηγή, οπότε ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντασης 10 A. Όλο το σύστημα βρίσκεται μέσα σε οριζόντιο ομογενές μαγνητικό πεδίο B , κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από τον ΚΛ και τους κατακόρυφους οδηγούς.
α) Ποια είναι η φορά και το μέτρο του μαγνητικού

πεδίου ώστε ο αγωγός ΚΛ να ισορροπεί;
β) Ποιο πρέπει να είναι το μέτρο του μαγνητικού πεδίου B ώστε ο αγωγός να κινείται προς τα κάτω με επιτάχυνση $a = 2 \text{ m/s}^2$.

Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

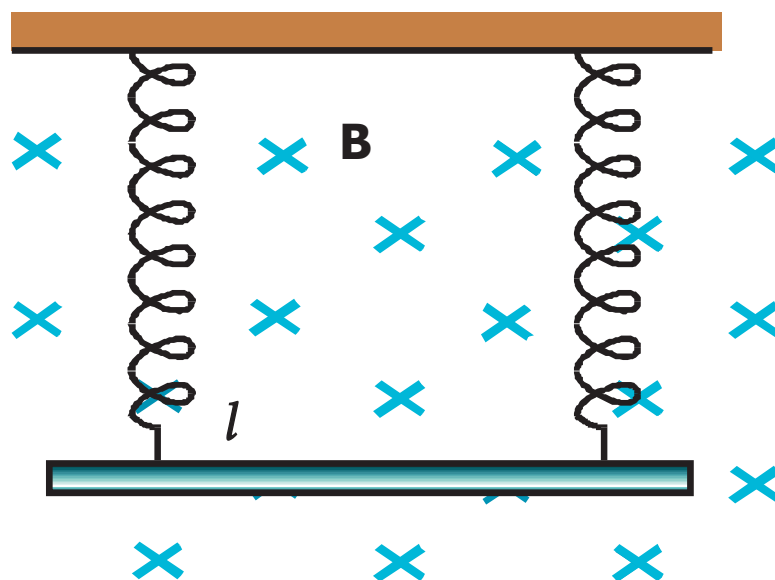
[Απ: α) $8 \times 10^{-2} \text{ T}$

β) $6,4 \times 10^{-2} \text{ T}$]



Σχ. 4.42

- 4.51 Ο ευθύγραμμος αγωγός του σχήματος 4.43 έχει μάζα $m = 10 \text{ gr}$, μήκος $l = 1 \text{ m}$ και κρέμεται κατακόρυφα από δύο όμοια ελατήρια. Όλο το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,2 \text{ T}$. Να σχεδιαστεί η φορά του ρεύματος που πρέπει να διαρρέει τον αγωγό και να υπολογιστεί η τιμή του ώστε αυτός να ισορροπεί χωρίς να δέχεται δύναμη από τα ελατήρια (τα ελατήρια να διατηρούν το φυσικό τους μήκος). Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$. [Απ: $0,5 \text{ A}$]



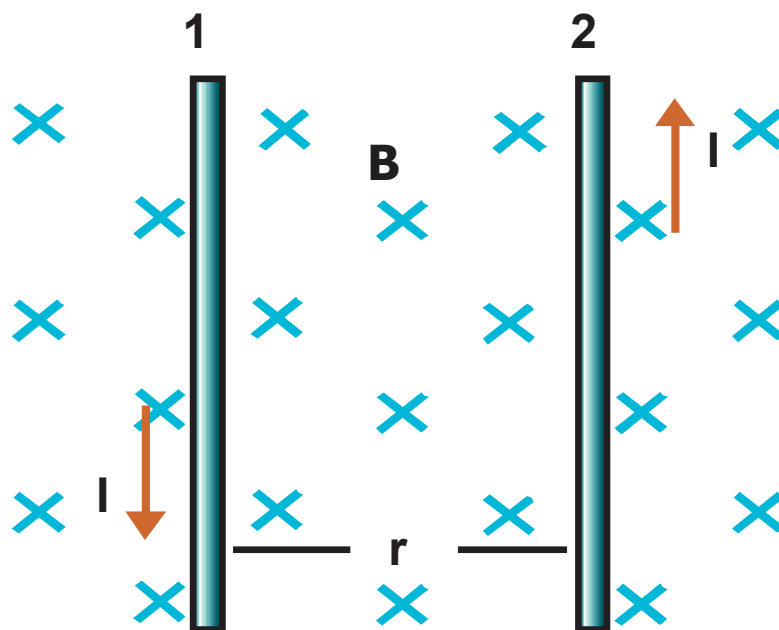
Σχ. 4.43

Δυνάμεις μεταξύ παράλληλων ρευμάτων

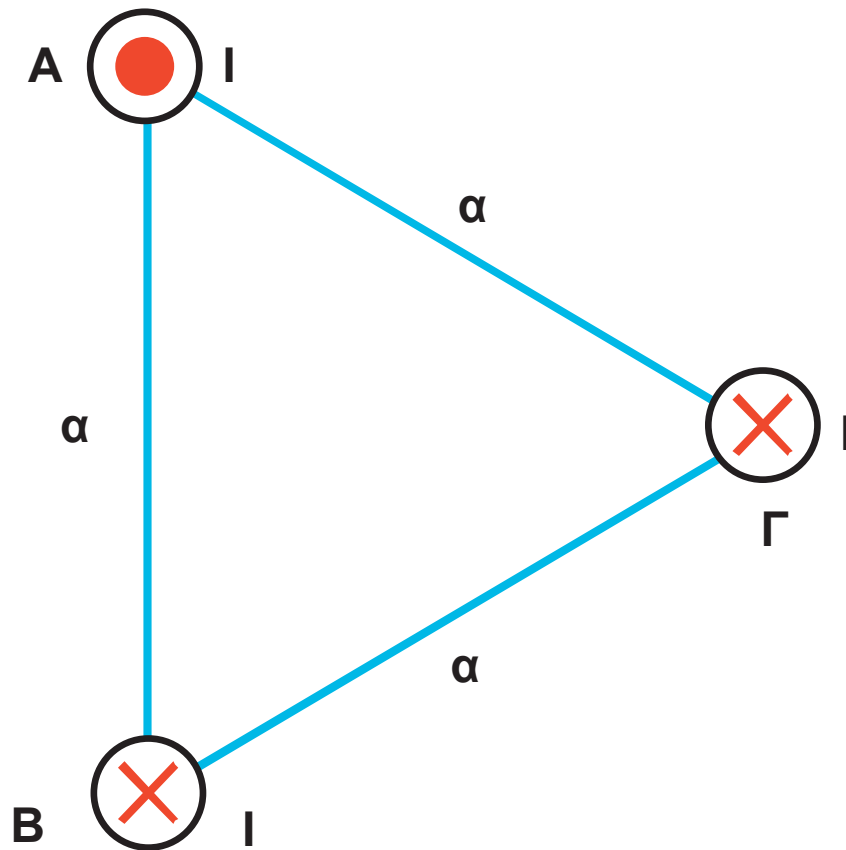
- 4.52 Δύο παράλληλοι αγωγοί, πολύ μεγάλου μήκους διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα $I_1 = 10 \text{ A}$ και $I_2 = 30 \text{ A}$. Οι αγωγοί απέχουν μεταξύ τους απόσταση $d = 8 \text{ cm}$. Τρίτος αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα $I_3 = 10 \text{ A}$ είναι παράλληλος με τους δύο πρώτους, βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτούς και στο μέσον της απόστασής τους. Αν το ρεύμα που

διαρρέει τον τρίτο αγωγό έχει αντίθετη φορά από τα ρεύματα I_1 και I_2 , να υπολογιστεί η δύναμη που δέχεται ο τρίτος αγωγός, ανά μονάδα μήκους του, από τους άλλους δύο. Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: 10^{-3} N/m]

- 4.53 Δύο παράλληλοι αγωγοί μεγάλου μήκους διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα $I = 10 \text{ A}$ και βρίσκονται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$, με το επίπεδο που ορίζουν κάθετο στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου (σχ. 4.44). Ο αγωγός 1 είναι ακλόνητα στερεωμένος και ο αγωγός 2 ελεύθερος να κινηθεί. Να υπολογιστεί ποια πρέπει να είναι η μεταξύ τους απόσταση r ώστε ο αγωγός 2 να ισορροπεί. Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: 4 cm]



Σχ. 4.44



4.54 Τρεις παράλληλοι μεταλλικοί αγωγοί A, B, και Γ διαρρέονται από ρεύματα της ίδιας έντασης $I = 50 \text{ A}$ και απέχουν ανά δύο απόσταση $\alpha = 30 \text{ cm}$. Στο σχήμα 4.45 παριστάνεται η τομή των τριών αγωγών με επίπεδο κάθετο σε αυτούς. Οι αγωγοί B και Γ διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα ενώ οι αγωγοί A και B διαρρέονται με αντίρροπα ρεύματα. Να υπολογιστεί το μέτρο της δύναμης που δέχεται η μονάδα μήκους του αγωγού Γ από τους άλλους δύο αγωγούς.

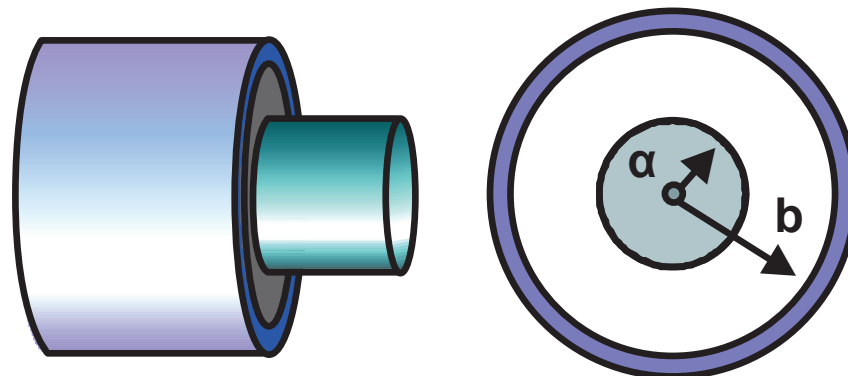
Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.

[Απ: $166,7 \times 10^{-5} \text{ N/m}$]

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 4.55** Κυλινδρικός αγωγός έχει διατομή ακτίνας $R = 4 \text{ cm}$ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 10 \text{ A}$. Το ρεύμα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στη διατομή του αγωγού, δηλαδή η πυκνότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων που δημιουργούν το ρεύμα είναι ίδια σ' όλη την έκταση του αγωγού.
- α) Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο σε αποστάσεις $r_1 = 2 \text{ cm}$ και $r_2 = 10 \text{ cm}$ από τον άξονα του κυλινδρικού αγωγού.
- β) Να παρασταθεί γραφικά το μέτρο του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ο αγωγός σε συνάρτηση με την απόσταση από τον άξονά του.
- Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.
[Απ: α) $2,5 \times 10^{-5} \text{ T}$, $2 \times 10^{-5} \text{ T}$]
- 4.56** Ευθύγραμμο σύρμα που έχει διατομή ακτίνας a περιβάλλεται από λεπτό κυλινδρικό αγωγίμο κελύφος ακτίνας b . Ο άξονας του κελύφους συμπίπτει με τον άξονα του σύρματος (σχ. 4.46). Μεταξύ του σύρματος και του κελύφους υπάρχει μονωτικό υλικό. (Η διάταξη ονομάζεται ομοαξονικό σύστημα αγωγών ή ομοαξονικό καλώδιο). Οι δύο αγωγοί διαρρέονται από ρεύματα I_1 και I_2 αντίθετης φοράς. Υπολογίστε το μαγνητικό πεδίο σε ένα σημείο που απέχει απόσταση r από τον κοινό άξονα και βρίσκεται α) μεταξύ των δύο αγωγών ($a < r < b$) και β) έξω από το σύστημα των δύο αγωγών ($r > b$). Εξετάστε και την περίπτωση όπου $I_1 = I_2$. Η μαγνητική διαπερατότητα του μονωτικού υλικού θα θεωρηθεί ίση με ένα.

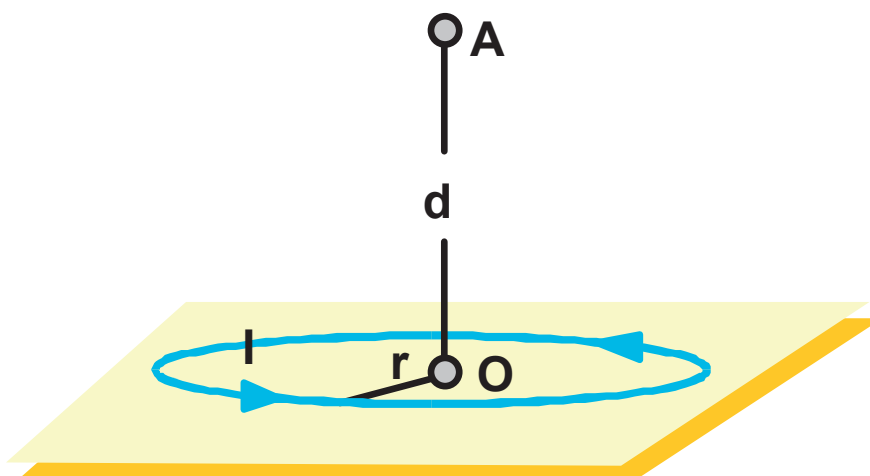
[Απ: α) $B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$, β) $B = \frac{\mu_0 |I_1 - I_2|}{2\pi r}$]



τομή του ομοαξονικού συστήματος

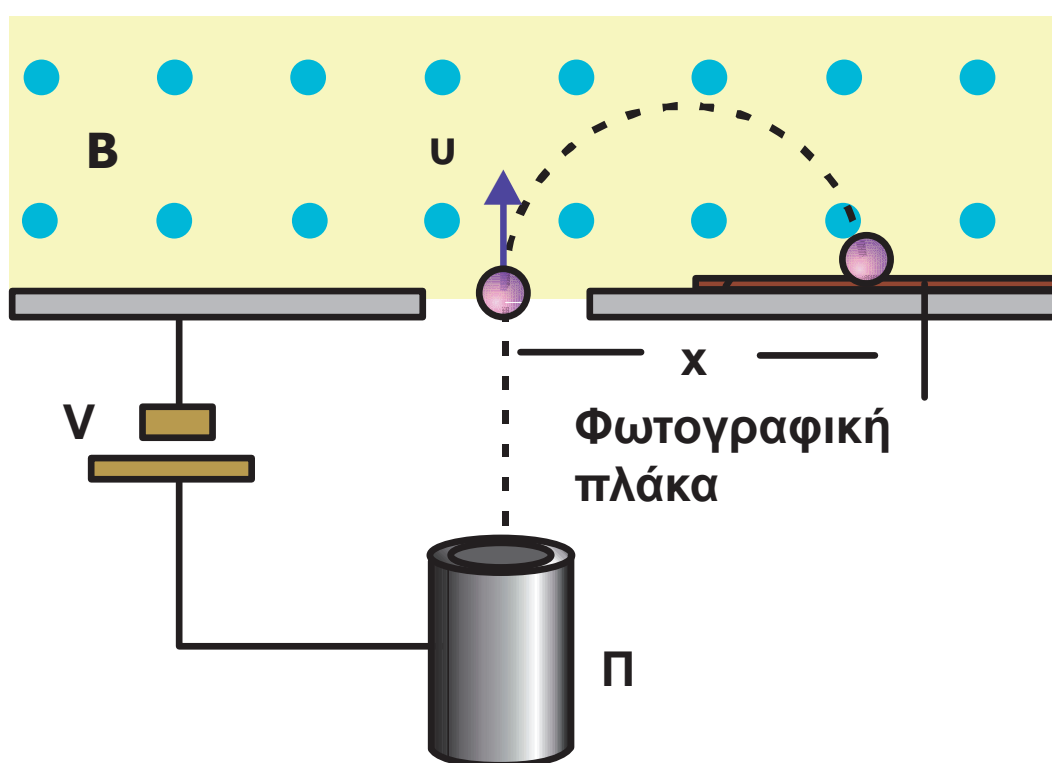
Σχ. 4.46

- 4.57 Κυκλικός αγωγός (σχ. 4.47) έχει ακτίνα $r = 3 \text{ cm}$ και διαρρέεται από ρεύμα $I = 10 \text{ A}$. Να υπολογιστεί το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο αγωγός σε σημείο A που βρίσκεται πάνω σε ευθεία που είναι κάθετη στο επίπεδο του κύκλου, διέρχεται από το κέντρο του κύκλου O και απέχει απόσταση $d = 4 \text{ cm}$ από το O . Δίνεται $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.



Σχ. 4.47

Υπόδειξη: Χωρίστε τον κυκλικό αγωγό σε πολύ μικρά τμήματα. Αναλύστε το διάνυσμα $\Delta \mathbf{B}$ σε κάθετες συνιστώσες, η μια των οποίων θα έχει τη διεύθυνση ΑΟ. Συγκρίνετε την ένταση του πεδίου που δημιουργούν δύο αντιδιαμετρικά μικρά τμήματα του αγωγού.
[Απ: $0,452 \times 10^{-4} \text{ T}$]



Σχ. 4.48

4.58 Στο σχήμα 4.48 παριστάνεται ένας φασματογράφος μάζας. Τα ιόντα που παράγονται από την πηγή Π αφού επιταχυνθούν από ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από τάση V , εισέρχονται σε περιοχή όπου υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο B , κάθετα στις δυναμικές γραμμές του. Εκεί, αφού διαγράψουν ημικυκλική τροχιά, πέφτουν σε φωτογραφική πλάκα όπου αποτυπώνεται το ίχνος τους. Γνωρίζοντας το φορτίο των ιόντων, την τάση

V , το μαγνητικό πεδίο B και την απόσταση x , του ίχνους στη φωτογραφική πλάκα από το σημείο εισόδου, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα των ιόντων. Αν $V = 95 \text{ V}$, $B = 0,08 \text{ T}$ το φορτίο κάποιου ιόντος είναι $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ και η απόσταση x βρέθηκε $0,5 \text{ m}$ υπολογίστε τη μάζα του ιόντος.
[Απ: $3,368 \times 10^{-25} \text{ kg}$]

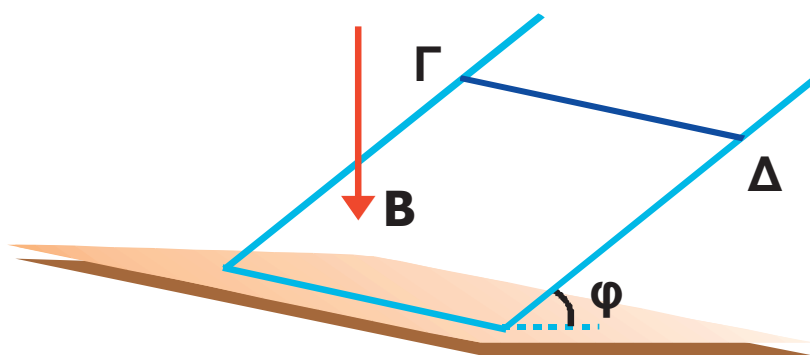
4.59 Σε ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 1 \text{ T}$ εισέρχεται ηλεκτρόνιο με ταχύτητα $u = 10^7 \text{ m / s}$. Το διάνυσμα της ταχύτητας σχηματίζει γωνία $\varphi = 60^\circ$ με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών του πεδίου. Να υπολογιστεί πόσες κυκλικές περιφορές θα κάνει το ηλεκτρόνιο μέχρι να διατρέξει απόσταση $x = 1 \text{ m}$ κατά τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών. Δίνονται: $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ και $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
[Απ: 5600 περιφορές]

4.60 Ηλεκτρόνιο μπαίνει σε χώρο δύο πεδίων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού, με δυναμικές γραμμές παράλληλες και αντίρροπες. Η ταχύτητα του ηλεκτρονίου είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές των πεδίων. Να μελετηθεί η κίνησή του.

4.61 Το χλώριο αποτελείται από δύο ισότοπα. Οι μάζες των ισοτόπων είναι $m_1 = 37 \times 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$ και $m_2 = 35 \times 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Μονοσθενή ιόντα χλωρίου επιταχύνονται από την ηρεμία με τάση $V = 7 \text{ kV}$. Στη συνέχεια κινούνται μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο $B = 0,5 \text{ T}$ ενός φασματογράφου μάζας και πέφτουν στη φωτογραφική πλάκα. Βρείτε πόσο θα απέχουν τα ίχνη των δύο ισοτόπων στη φωτογραφική πλάκα.

Δίνεται το στοιχειώδες φορτίο $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
[Απ: $8 \times 10^{-3} \text{ m}$]

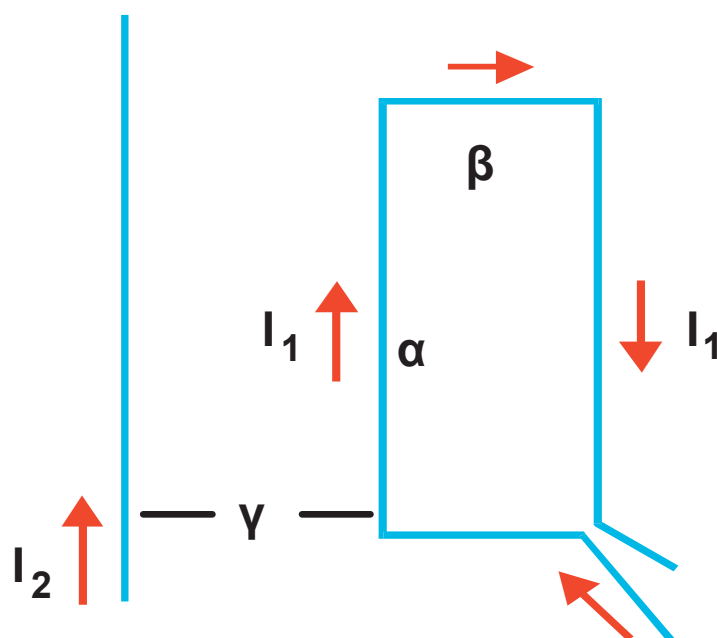
- 4.62 Αγωγός ΓΔ μάζας $m = 60 \text{ gr}$ και μήκους $l = 20 \text{ cm}$, μπορεί να ολισθαίνει χωρίς τριβές μένοντας συνεχώς οριζόντιος, πάνω σε δύο παράλληλες ράβδους από μονωτικό υλικό που σχηματίζουν γωνία $\varphi = 30^\circ$ με την οριζόντια διεύθυνση. Το όλο σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο, $B = 1 \text{ T}$ (σχ. 4.49). Να βρείτε τη φορά και την ένταση του ρεύματος που πρέπει να διαρρέει τον αγωγό ΓΔ ώστε να ισορροπεί. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.
[Απ: $\sqrt{3} \text{ A}$]



Σχ. 4.49

- 4.63 Ορθογώνιο πλαίσιο έχει πλευρές α και β και διαρρέεται από ρεύμα έντασης I_1 (σχ. 4.50). Ένας ευθύγραμμος αγωγός πολύ μεγάλου μήκους βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το πλαίσιο, διαρρέεται από ρεύμα I_2 , είναι παράλληλος με τις πλευρές του πλαισίου μήκους α και απέχει από την πιο κοντινή πλευρά απόσταση γ . Να υπολογιστεί η συνολική δύναμη που δέχεται το πλαίσιο από τον ευθύγραμμο αγωγό. Δίνονται τα μ_0 , I_1 , I_2 , α , β , γ .

[Απ: $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \alpha \beta}{2\pi\gamma(\gamma + \beta)}$]



Σχ. 4.50

4.64 Λεπτή δέσμη μονοσθενών ιόντων χλωρίου εισέρχεται σε περιοχή όπου συνυπάρχουν ομογενές μαγνητικό πεδίο και ομογενές ηλεκτρικό πεδίο κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση της δέσμης. Το μαγνητικό πεδίο είναι $B_1 = 4 \times 10^{-2} \text{ T}$ και το ηλεκτρικό πεδίο $E = 2000 \text{ V/m}$. Μερικά από τα ιόντα δεν εκτρέπονται και συνεχίζοντας την πορεία τους διέρχονται από λεπτή οπή διαφράγματος που η επιφάνειά του είναι κάθετη στη διεύθυνση της δέσμης. Αμέσως μετά τη δίοδό τους από την οπή, τα ιόντα εισέρχονται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο που η έντασή του έχει μέτρο $B_2 = 0,1 \text{ T}$ και είναι κάθετη στη διεύθυνση της δέσμης. Τα ιόντα εκτελώντας τώρα καμπυλόγραμμη κίνηση επιστρέφουν στο διάφραγμα και δημιουργούν πάνω σε φωτογραφική πλάκα δύο στίγματα που απέχουν μεταξύ τους απόσταση $d = 2 \text{ cm}$.

α) Σχεδιάστε την όλη διάταξη.

β) Εξηγήστε γιατί μερικά ιόντα αποκλίνουν μέσα

στο σύνθετο πεδίο ενώ άλλα συνεχίζουν ανεπη-
ρέαστα την πορεία τους.

γ) Εξηγήστε γιατί τα ιόντα σχηματίζουν δύο στίγ-
ματα.

δ) Κατά πόσα νετρόνια διαφέρουν τα δυο ισότοπα
του χλωρίου;

Δίνονται: το στοιχειώδες φορτίο $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
και η μάζα του νετρονίου $m_n = 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

[Απ: 2]

ΕΝΘΕΤΟ

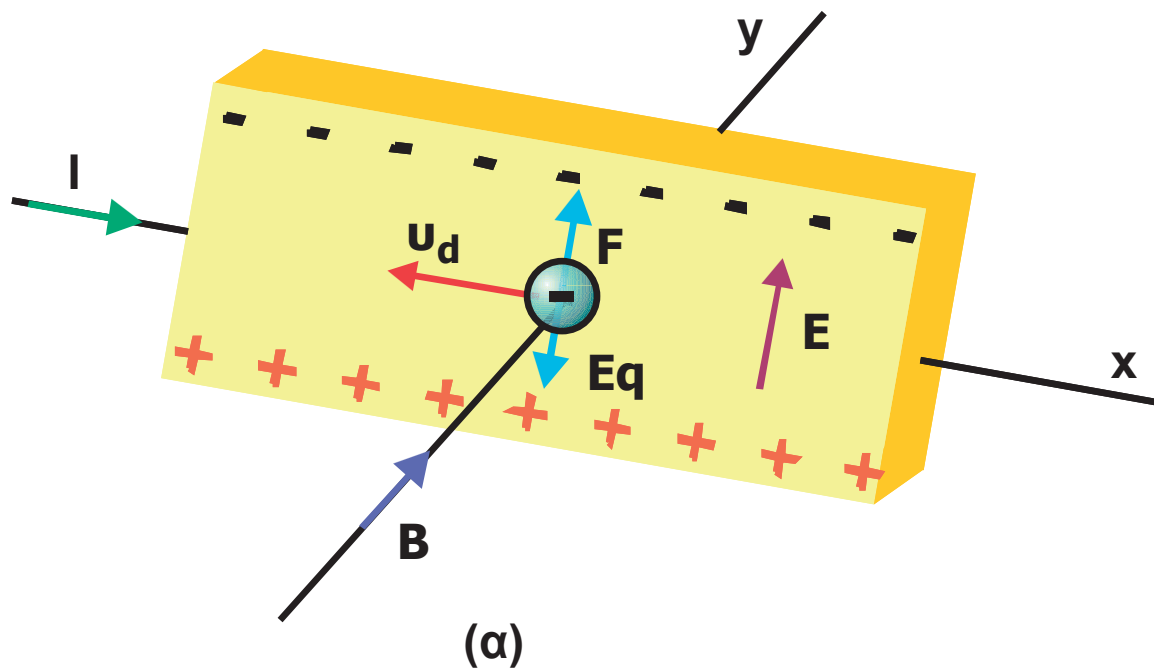
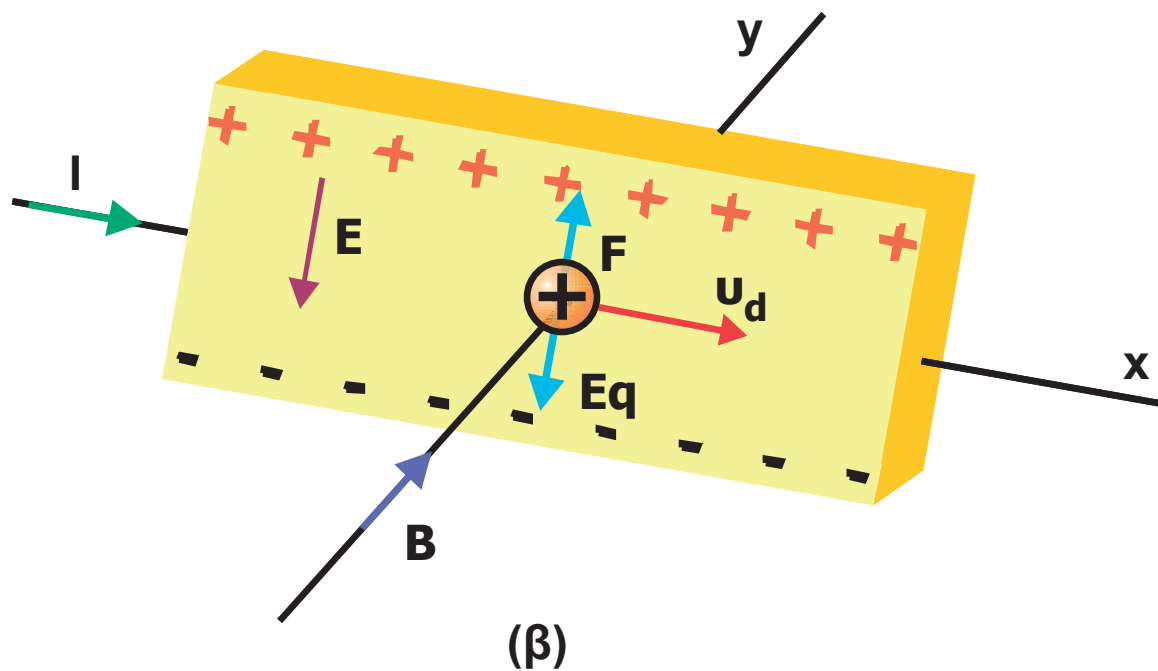
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL (Χολ)

Το 1879 ο Edwin Hall διαπίστωσε ότι σε ένα πλακίδιο που διαρρέεται από ρεύμα, τοποθετημένο μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δημιουργείται διαφορά δυναμικού σε διεύθυνση που είναι κάθετη στο ρεύμα και στο μαγνητικό πεδίο. Το φαινόμενο αυτό, που είναι γνωστό ως φαινόμενο Hall, οφείλεται στην απόκλιση που υφίστανται οι φορείς του ρεύματος, εξ αιτίας της δύναμης που δέχονται από το μαγνητικό πεδίο.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του φαινομένου Hall σε ένα αγώγιμο πλακίδιο δίνει πληροφορίες για τους φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και για την πυκνότητά τους. Το φαινόμενο το εκμεταλλευόμαστε στη μέτρηση μαγνητικών πεδίων.

Έστω ένας αγωγός σε σχήμα πλάκας που διαρρέεται από ρεύμα κατά τη θετική κατεύθυνση του άξονα x . Στην κατεύθυνση y υπάρχει ομογενές μαγνητικό πεδίο B . Εάν οι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ελεύθερα ηλεκτρόνια, (σχ. 4.51α) αυτά θα κινούνται προς την αρνητική κατεύθυνση του άξονα x με μια μέση ταχύτητα u_d (ταχύτητα δρολίσθησης). Στα ηλεκτρόνια αυτά το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη F με κατεύθυνση προς τα επάνω, και συνεπώς αποκλίνουν από την πορεία τους και συσσωρεύονται στο επάνω μέρος της πλάκας. Με τη συσσώρευση των ηλεκτρονίων στο επάνω μέρος της πλάκας δημιουργείται περίσσεια θετικού φορτίου στο κάτω μέρος της. Η συσσώρευση ίσων ποσοτήτων θετικού και αρνητικού φορτίου στο κάτω και επάνω μέρος

της πλάκας συνεπάγεται τη δημιουργία στο εσωτερικό της πλάκας ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου το οποίο ασκεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια δύναμη E_q , με φορά προς τα κάτω. Η συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου συνεχίζεται μέχρις ότου η ηλεκτρική δύναμη E_q εξισορροπήσει τη μαγνητική δύναμη F .



Σχ. 4.51

Με ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο μπορούμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού που δημιουργείται μεταξύ του κάτω και του επάνω μέρους της πλάκας εξαιτίας της συσσώρευσης ηλεκτρικού φορτίου. Αυτή η διαφορά δυναμικού ονομάζεται **τάση Hall (V_H)**.

Εάν οι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι θετικοί (όπως συμβαίνει σε ορισμένους ημιαγωγούς) (σχ. 4.51β) αυτοί θα εκτραπούν προς τα πάνω και έτσι στο επάνω μέρος συσσωρεύεται θετικό φορτίο ενώ στο κάτω αρνητικό. Στην περίπτωση αυτή το πρόσημο της τάσης Hall είναι αντίθετο από ό,τι πριν, όταν οι φορείς ήταν ηλεκτρόνια. Προσδιορίζοντας λοιπόν την πολικότητα της τάσης Hall προσδιορίζεται το πρόσημο των φορέων φορτίου.

Μπορούμε να βρούμε μια έκφραση για την τάση Hall αν θυμηθούμε ότι στην κατάσταση ισορροπίας η δύναμη του μαγνητικού πεδίου $F = B|q|u_d$ εξισορροπείται από τη δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου $E|q|$

$$F = B|q|u_d = E|q| \text{ ή } Bu_d = E \quad (4.23)$$

Εάν το πλάτος του αγωγού είναι d , τότε $E = \frac{V_H}{d}$ και η σχέση (4.23) γίνεται

$$Bu_d = \frac{V_H}{d} \text{ οπότε } V_H = Bdu_d \quad (4.24)$$

Από τη σχέση (4.24) παρατηρούμε ότι αν γνωρίζουμε την τάση Hall το B και το d , μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα διολίσθησης των φορέων του ρεύματος.

Η ένταση του ρεύματος μπορεί να εκφρασθεί και ως συνάρτηση του αριθμού n των φορέων φορτίου ανά μονάδα όγκου, όπως υπολογίστηκε στη σχέση (4.20)

$$I = n|q|A u_d \quad \text{ή} \quad u_d = \frac{I}{n|q|A}, \quad (4.25)$$

όπου A το εμβαδόν της διατομής της πλάκας. Θέτοντας στη σχέση (4.24) την (4.25) βρίσκουμε

$$V_H = \frac{IBd}{n|q|A}$$

Από τη σχέση αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε την πυκνότητα φορέων ρεύματος του αγωγού.

Τέλος γνωρίζοντας τις ιδιότητες του αγώγιμου πλακιδίου, δηλαδή την πυκνότητα φορέων ρεύματος και το είδος των φορέων φορτίου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το φαινόμενο για τη μέτρηση άγνωστων μαγνητικών πεδίων.

Το φαινόμενο Hall έχει πολλές πρακτικές εφαρμογές σε διάφορους χώρους, μεταξύ αυτών και στην ιατρική.

Το αίμα περιέχει ιόντα τα οποία κινούνται με την ταχύτητα ροής του. Μπορούμε να θεωρήσουμε την κίνηση των ιόντων σαν ηλεκτρικό ρεύμα. Εφαρμόζουμε ένα μαγνητικό πεδίο κάθετα σε μια αρτηρία και μετράμε την τάση Hall που αναπτύσσεται στα τοιχώματά της. Από τη σχέση που δίνει την τάση Hall μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση του ρεύματος και στη συνέχεια από τη σχέση (4.25) την ταχύτητα των ιόντων που είναι και η ταχύτητα ροής του αίματος. Γνωρίζοντας την ταχύτητα ροής του αίματος στην αρτηρία οι γιατροί μπορούν να βγάλουν συμπεράσματα για την κατάσταση του κυκλοφορικού συστήματος του ασθενή.

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ - ΧΡΗΣΙΜΑ ΜΕΓΕΘΗ

ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή
Ταχύτητα του φωτός	c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)	e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Βαρυτική σταθερά	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
Σταθερά Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Σταθερά Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$
Σταθερά Avogadro	N_A	$6,022 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$
Σταθερά των αερίων	R	$8,314 \text{ J / mol} \cdot \text{K}$
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Μάζα νετρονίου	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Μάζα πρωτονίου	m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Διηλεκτρική σταθερά του κενού	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$
Σταθερά Coulomb	K_c	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$
Μαγνητική διαπερατό- τητα του κενού	μ_0	$4 \times 10^{-7} \text{ Wb / A} \cdot \text{m}$

ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας		$4,186 \text{ J / cal}$
Κανονική ατμοσφαιρική πίεση	1 atm	$1,013 \times 10^5 \text{ P (N / m}^2\text{)}$
Απόλυτο μηδέν	0 K	$-273 \text{ }^\circ\text{C}$
Ηλεκτρονιοβόλτ	1 eV	$1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου	mc^2	$0,511 \text{ MeV}$
Γραμμομοριακός όγκος δανικού αερίου (s.t.p.)	V_{mol}	$22,4 \text{ L / mol}$

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ

A

αδιαβατική μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας το σύστημα δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

αδιαβατικό τοίχωμα: τοίχωμα που δεν επιτρέπει την ανταλλαγή θερμότητας.

ακτίνα Schwarzschild: η μέγιστη ακτίνα που πρέπει να έχει ένα ουράνιο σώμα μάζας M για να είναι μαύρη τρύπα.

ακτινοβολία Cerenkov: ορατή ακτινοβολία που προέρχεται από τις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα.

αμοιβαία επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα εξαιτίας της μεταβολής του ρεύματος σε ένα άλλο κύκλωμα.

ανόρθωση εναλλασσόμενης τάσης: η μετατροπή της σε συνεχή τάση.

αντιστρεπτή μεταβολή: μεταβολή στην οποία υπάρχει δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση.

απόλυτη θερμοκρασία: η θερμοκρασία στην κλίμακα Kelvin. Το μηδέν της κλίμακας είναι το απόλυτο μηδέν.

απόλυτο μηδέν: η θερμοκρασία κάτω από την από την οποία δεν είναι δυνατό να φτάσουμε. Αντιστοιχεί στους $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ατμομηχανή: είδος θερμικής μηχανής. Σε αυτή το «μέσον» είναι το νερό, δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας ο λέβητας όπου θερμαίνεται το νερό και δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας ο συμπυκνωτής όπου ψύχεται το νερό.

αυτεπαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που το διαρρέει.

B

βαρυτικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί μια μάζα θα δεχθεί δύναμη.

βόρειο σέλας: φωτεινό φαινόμενο που εκδηλώνεται κοντά στο βόρειο πόλο της Γης και οφείλεται στις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα του αέρα.

βρασμός: φαινόμενο κατά το οποίο ένα υγρό μεταβαίνει στην αέρια φάση από όλη τη μάζα του.

Γ

γαλβανόμετρο: όργανο που δείχνει αν περνάει ρεύμα.

γραμμική πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε μήκος Δl ενός αγωγού προς το μήκος αυτό.

Δ

διατηρητικό πεδίο: πεδίο στο οποίο η δύναμη που ασκεί δεν παράγει έργο κατά τη μετακίνηση του υποθέματος σε κλειστή τροχιά.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων βαρυτικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μιας μάζας m από το ένα σημείο στο άλλο προς τη μάζα αυτή.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση φορτίου q από το ένα σημείο στο άλλο προς το φορτίο αυτό.

διηλεκτρική αντοχή: η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πάνω από την οποία το διηλεκτρικό συμπεριφέρεται ως αγωγός.

διηλεκτρική σταθερά (διηλεκτρικού): ο λόγος της χωρητικότητας ενός πυκνωτή με το διηλεκτρικό προς τη χωρητικότητα του ίδιου πυκνωτή στο κενό.

διηλεκτρικό: σώμα στο οποίο δεν μπορούν να κινηθούν ηλεκτρικά φορτία, ο μονωτής.

δίοδος: συσκευή που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς μία κατεύθυνση.

δύναμη Laplace: η δύναμη που δέχεται ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη Lorentz: η δύναμη που δέχεται ένα ηλεκτρικό φορτίο που κινείται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη κεντρική: η δύναμη αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο μαζών ή δύο φορτίων που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που ορίζεται από τα κέντρα μάζας ή τα κέντρα φορτίων αντίστοιχα.

δυναμικό βαρυτικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μάζας m από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς τη μάζα αυτή.

δυναμικό ηλεκτρικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση φορτίου q από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς το φορτίο αυτό.

δυναμό: γεννήτρια.

E

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερή πίεση (C_p): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου η πίεση μένει

σταθερή, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερό όγκο (CV): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου ο όγκος είναι σταθερός για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
ειδική γραμμομοριακή θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε στη μονάδα μάζας του υλικού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ειδική θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 g του υλικού για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

εκτόνωση ελεύθερη: η αύξηση του όγκου του αερίου που γίνεται χωρίς παραγωγή έργου, η ανεμπόδιστη αύξηση του όγκου ενός αερίου.

εναλλακτήρας: η γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης.

εναλλασσόμενο ρεύμα: ρεύμα του οποίου η ένταση είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

ενεργός ένταση (εναλλασσόμενου ρεύματος): η ένταση ενός συνεχούς ρεύματος που έχει τα ίδια θερμικά αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο.

ενεργός τάση (εναλλασσόμενης τάσης): η τιμή της συνεχούς τάσης που όταν εφαρμόζεται σε μια αντίσταση δίνει ρεύμα με ένταση ίση με την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί η εναλλασσόμενη τάση.

ενεργός ταχύτητα: η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των ταχυτήτων.

ένταση βαρυτικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται μάζα m σε ένα σημείο του πεδίου προς τη μάζα αυτή.

ένταση ηλεκτρικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται φορτίο q σε ένα σημείο του πεδίου προς το φορτίο αυτό. Η κατεύθυνσή της συμπίπτει με την κατεύθυνση της δύναμης που ασκείται σε θετικό φορτίο.

ένταση μαγνητικού πεδίου: το πηλίκο της μέγιστης δύναμης που δέχεται από μαγνητικό πεδίο ένας αγωγός μήκους l , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , προς το γινόμενο Il .

εντροπία: μέγεθος που συνδέεται με την αταξία που επικρατεί στα δομικά συστατικά του συστήματος και με την ικανότητα του συστήματος να παράγει έργο.

εξαερίωση: η μετάβαση ενός σώματος από την υγρή στην αέρια φάση.

εξάτμιση: η εξαερίωση που γίνεται μόνο από την επιφάνεια του υγρού.

εξίσωση της τροχιάς: η συνάρτηση $y = f(x)$ των συντεταγμένων του σώματος.

επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε έναν αγωγό όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που περνάει από την επιφάνεια που ορίζει με το σχήμα του ή όταν διέρχεται μαγνητική ροή από την επιφάνεια που ορίζει με την κίνησή του.

επαγωγική σύζευξη δύο κυκλωμάτων: δύο κυκλώματα βρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη όταν η μεταβολή του ρεύματος στο ένα δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο άλλο.

επιλογέας ταχυτήτων: διάταξη που επιτρέπει να περάσουν μόνο φορτισμένα σωματίδια που έχουν ορισμένη ταχύτητα. Βασίζεται στο συνδυασμό μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου με τις δυναμικές γραμμές τους

κάθετες μεταξύ τους.
επίπεδος πυκνωτής: πυκνωτής του οποίου οι οπλισμοί είναι παράλληλες επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες.
επιφάνεια Gauss: μια κλειστή επιφάνεια που επιλέγουμε για να εφαρμόσουμε το νόμο του Gauss.
επιφανειακή πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε επιφάνεια ΔA προς την επιφάνεια αυτή.
εσωτερική ενέργεια: ενέργεια που εμπεριέχει ένα σώμα και είναι το άθροισμα των ενεργειών των σωματιδίων που το απαρτίζουν, ως αποτέλεσμα της σχετικής τους κίνησης ως προς το κέντρο μάζας του σώματος και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Z

ζώνες Van Allen: ζώνες που περιβάλλουν τη Γη στις οποίες παρατηρήθηκε μεγάλη πυκνότητα φορτισμένων σωματιδίων.

H

ηλεκτρική ροή από στοιχειώδη επιφάνεια ΔA : το γινόμενο του μέτρου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

ηλεκτρικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί ένα φορτίο θα δεχθεί δύναμη.

ηλεκτρονικό τηλεβόλο: τμήμα του καθοδικού σωλήνα που εξασφαλίζει την εκπομπή, επιτάχυνση και εστίαση των ηλεκτρονίων.

ηλεκτρονιοβόλτ: το έργο που παράγει η δύναμη του

πεδίου όταν μετατοπίζεται το στοιχειώδες φορτίο μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού 1 V. ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$).



θερμικά μονωμένο σύστημα: σύστημα που δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Θερμικά μονωμένο αν δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

θερμική μηχανή: μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανικό έργο.

θερμοδυναμική ισορροπία: η κατάσταση στην οποία οι θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος παραμένουν σταθερές.

θερμοδυναμική μεταβλητή: μέγεθος που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε ένα θερμοδυναμικό σύστημα.

θερμοδυναμική: η επιστήμη που εξετάζει τις μετατροπές της θερμότητας σε μηχανικό έργο.

θερμότητα: μορφή ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία.



ιδανικά αέρια: Μακροσκοπικά, τα αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση, σε όλες τις συνθήκες. Από μικροσκοπική άποψη τα αέρια των οποίων τα μόρια είναι τέλειες σφαίρες, δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παρά μόνο όταν συγκρούονται και οι συγκρούσεις με τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται είναι τελείως ελαστικές.

ισοβαρής μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η πίεση του αερίου μένει σταθερή.

ισόθερμη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η θερμοκρασία του αερίου μένει σταθερή.

ισότοπα (άτομα): άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό - άτομα του ίδιου στοιχείου που έχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων, άρα διαφορετική μάζα.

ισόχωρη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας ο όγκος του αερίου μένει σταθερός.

K

κινητική θεωρία: θεωρία που διατυπώθηκε για να ερμηνευτεί η συμπεριφορά των αερίων. Βασική της παραδοχή ότι τα αέρια αποτελούνται από μεγάλο αριθμό σωματιδίων που κινούνται άτακτα.

κορεσμένοι ατμοί: Ατμοί που συνυπάρχουν σε ισορροπία με την υγρή φάση του σώματος.

κυκλική μεταβολή: κάθε μεταβολή στο τέλος της οποίας το αέριο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

κύκλος Carnot: Κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου που περιλαμβάνει ισόθερμη εκτόνωση, αδιαβατική εκτόνωση, ισόθερμη συμπίεση και αδιαβατική συμπίεση.

M

μαγνητική ροή από επιφάνεια ΔA : το γινόμενο του μέτρου της έντασης του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

μαγνητική φιάλη: μαγνητικό πεδίο που εγκλωβίζει φορτισμένα σωματίδια. Είναι ισχυρό στα άκρα και ασθενές στο μέσο.

μαγνητικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο δέχονται δυνάμεις κινούμενα ηλεκτρικά φορτία ή ρευματοφόροι αγωγοί.

μακροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος κατά τη διάρκεια της οποίας αδιαφορούμε για τους δομικούς του λίθους (άτομα, μόρια, κ.λπ.).

μαύρη τρύπα: ουράνιο σώμα για το οποίο η ταχύτητα διαφυγής ισούται με την ταχύτητα του φωτός-που δεσμεύει στο βαρυτικό του πεδίο και τα φωτόνια.

μέση ισχύς (εναλλασσόμενου ρεύματος): το πηλίκο της ενέργειας που μεταφέρει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε χρόνο μιας περιόδου προς το χρόνο αυτό.

μέση ταχύτητα μορίων: ο μέσος όρος των ταχυτήτων των μορίων.

μηχανή Carnot: Μια ιδανική θερμική μηχανή που έχει το μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από όλες τις μηχανές που λειτουργούν ανάμεσα στις θερμοκρασίες T_1 και T_2 .

μικροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος με βάση τη συμπεριφορά των δομικών του λίθων.

Π

παλμογράφος: ηλεκτρονική διάταξη που επιτρέπει να παρακολουθούμε και να μετράμε μεταβαλλόμενες τάσεις.

πεδίο δυνάμεων: χώρος στον οποίο ασκείται δύναμη στο κατάλληλο υπόθεμα που βρίσκεται σε αυτόν.

πιο πιθανή ταχύτητα (των μορίων ενός αερίου): αν ομαδοποιήσουμε τα μόρια ενός αερίου με βάση την ταχύτητά τους, η ταχύτητα της πιο πολυπληθούς ομάδας.

πόλωση διηλεκτρικού: η ανακατανομή των ηλεκτρικών φορτίων του διηλεκτρικού όταν εισάγεται σε ηλεκτρικό πεδίο.

πυκνωτής: σύστημα δυο αγωγών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση και χωρίζονται από το κενό ή από ένα διηλεκτρικό.

P

ρότορας: το κινητό μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

Σ

σημειακή μάζα: μάζα που είναι συγκεντρωμένη σε ένα σημείο- σώμα που έχει πολύ μικρές διαστάσεις.

σημείο βρασμού: το σημείο ζέσεως.

σημείο ζέσεως: η θερμοκρασία στην οποία βράζει ένα υγρό.

σταθερά του Boltzmann: το πηλίκο της παγκόσμιας σταθεράς των ιδανικών αερίων με τον αριθμό ΝΑ.

στάτορας: το ακίνητο μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής δυο κυκλωμάτων: το πηλίκο της επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται σε ένα κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος στο άλλο κύκλωμα.

συντελεστής αυτεπαγωγής ενός κυκλώματος: το πηλίκο της επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται στο κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος που το διαρρέει.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος του έργου που αποδίδει σε έναν κύκλο η μηχανή προς τη θερμότητα που παίρνει από τη θερμή δεξαμενή στον ίδιο χρόνο.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος

του ωφέλιμου έργου που αποδίδει μια θερμική μηχανή προς τη θερμότητα που προσλαμβάνει από το περιβάλλον.

T

τάση σάρωσης: η περιοδική τάση που εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας εκτροπής ενός παλμογράφου.

Χαρακτηριστικό της είναι ότι αυξάνεται γραμμικά και μηδενίζεται απότομα.

ταχύτητα διαφυγής: η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει ένα σώμα για να εγκαταλείψει το βαρυτικό πεδίο ενός ουράνιου σώματος.

Φ

φασματογράφος μάζας: διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του πηλίκου m/q φορτισμένων σωματιδίων.

φθορισμός: η εκπομπή ακτινοβολίας από ένα σώμα στο οποίο προσπίπτουν φωτόνια ή φορτισμένα σωματίδια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή.

X

χωρητικότητα πυκνωτή: το σταθερό πηλίκο του φορτίου του πυκνωτή προς τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους οπλισμούς του.

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

ακτινοβολία Cerenkov 40

Δ

δύναμη Laplace 50

δύναμη Lorentz..... 30

δύναμη μαγνητική ανάμεσα σε
παράλληλους αγωγούς..... 57

E

έλικας, βήμα 37

Z

ζώνες Van Allen 39

I

ισότοπα 50

M

μονάδα Ampère (ορισμός)..... 59

μονάδα Tesla (ορισμός)..... 55

N

νόμος Ampère..... 16

νόμος Biot-Savart..... 7

νόμος Gauss για το μαγνητισμό ??

Π

πεδίο μαγνητικό 7

πεδίο μαγνητικό ευθύγραμμου αγωγού..... 15

πεδίο μαγνητικό κυκλικού αγωγού 11

πείραμα Thomson 43

P

ροή μαγνητική 27

Σ	
σέλας βόρειο.....	40
Τ	
ταχυτήτων επιλογέας.....	41
Φ	
φαινόμενο Hall.....	99
φασματογράφος μάζας.....	47
φιάλη μαγνητική	39

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.
2. Physics for scientists & engineers Serway.
3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.
4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).
5. F.J. Keller - W.E. Gettys - M.J. Skove Physics (second edition).
6. ΟΗΑΝΙΑΝ Physics - Εκδόσεις Συμμετρία - Μετάφραση Α. Φίλιππα.
7. Edward M. Purcell Ηλεκτρισμός - Μαγνητισμός. Μαθήματα Φυσικής - Πανεπιστήμιο Berkeley. Έκδοση Ε.Μ.Π.
8. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος Γενική Φυσική - Εκδόσεις ΟΛΥΜΠΙΑ.
9. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G. Hewitt - Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
10. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυναμική David J. Griffiths - Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
11. Κλασσική και σύγχρονη Φυσική kenneth W. Ford - Εκδόσεις Πνευματικός.
12. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική Einstein, Infeld - Εκδόσεις Δωδώνη.
13. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας Jayant Narlikar - Εκδόσεις Τροχαλία.
14. Robert March Φυσική για ποιητές - Εκδόσεις Δίαυλος.
15. Ιστορία της Φυσικής Emilio Segre - Εκδόσεις Δίαυλος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4 Μαγνητικό πεδίο

Εισαγωγή	6
Νόμος των Biot και Savart	7
Εφαρμογές του νόμου Biot και Savart	11
Ο νόμος Ampère	16
Μαγνητική ροή	25
Νόμος του Gauss στο μαγνητισμό.....	26
Δύναμη που ασκεί το μαγνητικό πεδίο σε κινούμενο φορτίο.....	28
Ερωτήσεις	69
Ασκήσεις.....	81

Παραρτήματα

Πίνακες σταθερών	90
Λεξιλόγιο όρων	104
Αλφαβητικό ευρετήριο	114
Βιβλιογραφία.....	117

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

αερίων νόμοι.....	20
αέρια, ιδανικά.....	29, 45
απόλυτο μηδέν	27
ατμοί κορεσμένοι.....	89

B

βρασμός	85
---------------	----

E

ενεργός ταχύτητα	51
εξαερίωση	81
εξάτμιση.....	82
εξίσωση καταστατική	31
εκτόνωση ελεύθερη.....	31
εντροπία	6
εντροπίας μικροσκοπική ερμηνεία	19

Θ

θερμοκρασία απόλυτη	26
θεωρία κινητική	42

K

κορεσμένοι ατμοί.....	89
-----------------------	----

M

μελέτη μικροσκοπική	17
μελέτη μακροσκοπική.....	17
μεταβολή ισοβαρής.....	29
μελέτη ισόθερμη	23
μελέτη ισόχωρη	25
μεταβολή αδιαβατική	24

-κυκλική	29
-ισόθερμη	27

N

νόμος Boyle	21
νόμος Charles	23
νόμος Gay - Lussac	27
νόμος θερμοδυναμικός 2ος	15

Π

πείραμα Zartman	64
-----------------------	----

Σ

σημείο ζέσεως	85
σταθερά Boltzmann	50

T

ταχύτητα μέση	75
ταχύτητα ενεργός	51
ταχύτητα, πιο πιθανή	75
ταχυτήτων κατανομή	71



Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.